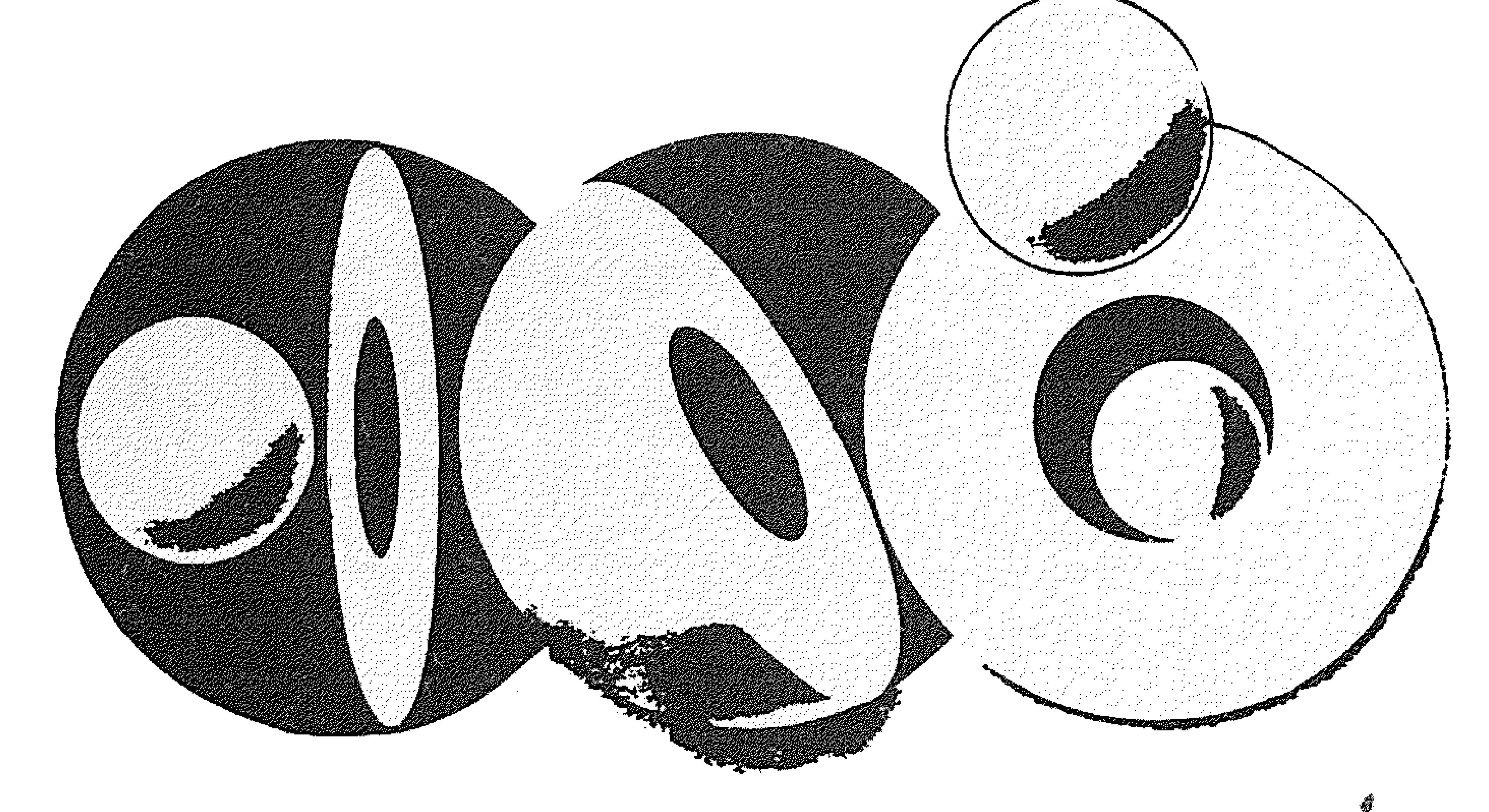
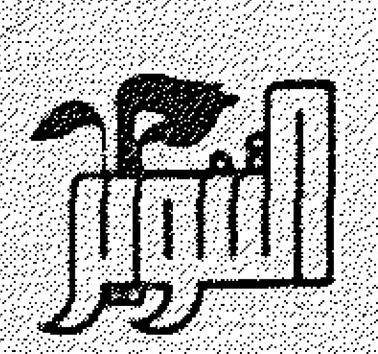
مدخل الى فلسفة العلوم

الأسس الفلسفية للفيزياء



رودلف كارناب

ترجمة وتقديم وتعليق د. السيد نفادي



الأسس الفلسفية للفيزياء

مدخل الى فلسفة العلوم

الأسس الفلسفية للفيزياء

رودلف كارناب

ترجمة وتقديم وتعليق د. السيد نفادي



* الطبعة الأولى: ١٩٩٣.
* الناشر: دار التنوير للطباعة والنشر.
الصنوبرة - أول نزلة اللبان - بناية عساف -
الطابق السابع - تلفون: ٨٠٦٣٥٩ -
ص.ب. ٦٤٩٩ - ١١٣ بيروت - لبنان.

مقدمَة المترجم

في ظل أحداث مثيرة، وتغيرات عميقة شملت كافة أوجه الحياة، تمخض القرن العشرون عن ولادة الوضعية المنطقية. ذلك الطفل المدلل والمشاغب لفلسفة القرن العشرين. وكان ذلك حوالي سنة ١٩٢٢، نتيجة لقاءات واجتماعات لمجموعة من الفلاسفة والعلماء والرياضيين، عرفت فيما بعد بـ«جماعة فيينا» أو «دائرة فيينا». واستمرت هذه الجماعة أو الحلقة في نشاط دائب تصاعد الى الذروة في الفترة من ١٩٢٦ الى ١٩٣٦. ثم لم يلبث أنصارها أن انفرط عقدهم إما إلى الموت أو التفرق خارج البلاد. وأثناء هذه الفترة الوجيزة نجحت هذه الحركة في أن تجر العالم الفلسفي إلى مجادلات حادة، ومناقشات حامية، لا تزال أصداؤها ـ على الرغم من أن الحركة الآن قد انحسرت ـ باقية إلى يومنا هذا.

بدأت الوضعية المنطقية تشق طريقها بفضل مؤسسها موريتز شليك Moritz Schlick (١٨٨٢ ـ ١٩٣٦) الذي عين استاذاً لفلسفة العلوم في جامعة فيينا سنة ١٩٢٢. وكان تعيينه هذا مستهلاً لتجمع العديد من العلماء حوله. وكان على رأسهم هانز هان Hans Hahn. أما شليك نفسه فقد كان متخصصاً في الفيزياء، وكتب أطروحته للدكتوراه «في الضوء» تحت اشراف أستاذه الشهير صاحب نظرية الكم، ماكس بلانك Max Planck. ولقد عقد شليك روابط صداقة شخصية متينة بأستاذه بلانك، وبصاحب نظرية النسبية الاشهر اينشتين، وبالعالم الرياضي المعروف هيلبرت. ونشر في عام ١٩١٧ كتابه «المكان والزمان في الفيزياء المعاصرة». كما نشر في عام ١٩١٨ كتابه الهام «النظرية العامة للمعرفة». ولم يلبث أن ذاع صيته كفيلسوف علم، مما أدى إلى تعيينه في جامعة فيينا خلفاً لعمالقة العلم أمثال أرنست ماخ، وبولتزمان، فكان ذلك بداية لمولد الفلسفة الوضعية المنطقية. فقد احتشد حول هذا العالم، الذي أصبح الآن فيلسوفاً

محترفاً، مجموعة من الفلاسفة والرياضيين. كان على رأس الفلاسفة هيربرت فيجل Herbert Feigl، وفيكتور كرافت V. Kraft، وفريدريك ويسمان F. Waismann. أما من كانوا على رأس الرياضيين فهم كورت جودل K. Godel، وهانز هان H. Hahn، وكارل مينجر K. Menger. وبالإضافة إلى هؤلاء كان أوتو نيوراث Otto Neurath الذي اعتبر نفسه فيلسوفاً اجتماعياً، من أبرز أعضاء المجموعة.

ثم انضم كارناب إلى الجماعة في سنة ١٩٢٦، فكان لانضمامه هذا أكبر الأثر في تطور نشاط الجماعة. وفي نفس الوقت تقريباً، كانت قد تكونت جماعة مؤثرة أخرى، التفت حول هانز ريشنباخ Hans Reichenbach في برلين. والتقت أهداف الجماعتين في ازدرائهم للفلاسفة الذين يجهلون العلم، ولا يتورعون عن اصدار الأحكام التي تتعلق بالمعرفة بصفة عامة، والعلم بصفة خاصة. فبدأت الاتصالات بينهما، وكان من نتيجة هذه الاتصالات العمل المشترك بين الجماعتين في مؤتمر فلسفي خصص للبحث في نظرية المعرفة المتصلة بالعلوم الدقيقة، وكان ذلك في سنة ١٩٣٠.

وظلت جماعة فيينا تعقد اجتماعات متكررة في السنوات من ١٩٢٢ إلى ١٩٢٩، خصصت معظمها للمناقشات الفلسفية. وكان لودفيج فتجنشتين L. Wittgenstein، قد انتهى من كتابة مؤلفه الشهير رسالة منطقية ـ فلسفية Tractatus Logico - Philosophicus في سنة ١٩١٨، وهو عبارة عن عرض لفلسفة الذرية المنطقية Logical Atomism التي تؤكد وجود بسائط تنحل إليها اللغة وتتكون منها العبارات المختلفة. وأن ثمة علاقة بين هذه البسائط وبين وقائع العالم الخارجي. وعلى الرغم من أن فتجنشتين كان يمكث بالقرب من فيينا بعد الحرب العالمية الأولى، إلا أنه لم يلعب أي دور في اجتماعات جماعة فيينا. بيد أن معظم أعضائها انتهزوا فرصة الاتصال به، ودرسوا رسالته بعناية فائقة، فقد كان لها تأثير قوي في تشكيل الملامح الرئيسية لآراء ومعتقدات الوضعية المنطقية. بل إن معظم أعمال كارناب في الفترة من ١٩٢٦ إلى ١٩٣٤، كانت في الحقيقة محاولة لجعل الذرية المنطقية في توافق وانسجام مع الوضعية المنطقية.

وفي سنة ١٩٢٩ اطلقت جماعة فيينا على نفسها اسم «حلقة فيينا» وأصدرت منشوراً «مانيفستو» بعنوان «وجهة نظر علمية إلى العالم» «Scientific World View»، تحدد فيه موقفها من المشكلات الفلسفية والمنطقية والرياضية والفيزيائية والاجتماعية. وتبين فيه صلتها بالفلسفات المختلفة التي سبقتها أو التي تعاصرها. كما أوردت قائمة بأسماء الفلاسفة والمناطقة والعلماء الذين تعتبرهم الجماعة رواداً في الوضعية أمثال هيوم وكونت ومل وماخ، وبيرسون وأفيناريوس من الفلاسفة، وهيلمهولتز وريمان وبوانكاريه وبولتزمان واينشتين من العلماء أو فلاسفة العلم، وليبنتز

وبيانو وفريجه ورسل ووايتهد وفتجنشتين من المناطقة. كما أوردت أسماء علماء رياضيات أمثال جوس، وبيانو وهيلبرت، وأسماء علماء اجتماع أمثال ابيقورس وبنتام وكونت وماركس وغيرهم. ولم يلبث أن نظم أعضاء الجماعة المؤتمرات، وأجروا الاتصالات مع الفلاسفة القريبين منهم في الرأي في بولندا وبريطانيا والولايات المتحدة. وبدأ كارناب وريشنباخ معاً في إصدار مجلة باسم «المعرفة Erkenntis» في سنة ١٩٣٠، كانت وسيلتهم الرئيسية في نشر أفكارهم. كما ظهرت أبحاث جماعة فيينا الفلسفية سنة ١٩٣٤ ضمن سلسلة المنشورات في وحدة العلم.

وفي سنة ١٩٣٦، فقدت الحركة دفعها الذاتي. فمن الناحية الفلسفية فقدت الحركة سيطرتها على مسرح الأحداث، ومن الناحية العلمية فقدت عضواً بارزاً فيها هو هانز هان الذي توفي في سنة ١٩٣٤، قبل سنتين من الفاجعة التي ألمت بالجماعة وهزتها هزاً عنيفاً بقتل مؤسسها وباعث حركتها موريتز شليك الذي قتله طالب معتوه كان قد تقدم بأطروحة في علم الأخلاق ورفضها شليك. بالإضافة إلى أن النظم الفاشية لدولفس Dolfuss وششنيج Schuschnigg لم تكن تطيق نشاط الجماعة واتصالاتهم، فكانت تلاحق أعضاءها وتراقب نشاطهم؛ فلم يلبث أن انفرط عقدهم، فتوجه ويسمان إلى أكسفورد حيث توفي عام ١٩٥٩، وذهب نيورث أولاً إلى هولندا، ثم استقر أخيراً في الولايات المتحدة مع كل من جودل ومينجر، وفيجل، وزعيم الحركة الأكبر رودلف كارناب.

والحقيقة أننا لا نكون مغالين إذا قلنا أن رودلف كارناب (١٨٩١ - ١٩٧٠) يعد من أهم شخصيات الوضعية المنطقية أو التجريبية المنطقية كما أرادوا أن يسموا فيما بعد. فهو يعتبر رائدها والمترجم الحقيقي لأهدافها، كما أنه يعتبر زعيمها الذي حافظ على مبادئها؛ وحاول وحده أن يحقق بتفصيل وبشكل متماسك ومتكامل مذهبها. وعلى الرغم من أن كارناب لا يعتبر المؤسس الحقيقي للوضعية المنطقية، إلا أنه أصبح الصورة المعترف بها بصفة عامة للحركة، والأمين على أهدافها الرئيسية، وأكثر شخصياتها أصالة وإبداعاً.

ولد كارناب في سنة ١٨٩١ في رونز دورف Rons - dorf بالقرب من بارمن Barmen بألمانيا، حيث تلقى تعليماً بورجوازياً في صباه. وقد درس في جامعتي فرايبورج وييّنا في الفترة من ١٩١٠ إلى ١٩١٤ متخصصاً في الفيزياء والرياضيات والفلسفة. وقد تتلمذ في ييّنا على يد جوتلوب فريجه G. Frege الذي كان له أكبر الأثر هو وبرتراند رسل على تفكير كارناب. وفي إحدى رسائل كارناب نجد العلامات التاريخية التالية:

«عملت في ألمانيا، وبشكل كامل في مزرعة صغيرة كانت ملكي حتى العام ١٩٢٦. وكنت

قد بدأت طريقي الفلسفي. وتأثرت كثيراً بكل من رسل، وأستاذي فريجه انحصر هدفي في ذلك الوقت في تحليل المفاهيم العلمية مستعيناً على ذلك بتطبيق المنطق الحديث، من أجل تنقية المشكلات الفلسفية. ولم يكن يدور في خلدي في ذلك الوقت على الاطلاق العمل من أجل حركة فلسفية. فقد كانت منشوراتي المبكرة تتعلق بموضوعات في أسس الفيزياء، حيث كانت أطروحتي للدكتوراه بعنوان (المكان: محاولة للاسهام في نظرية العلم)، وبعض الكتابات الأخرى المتعلقة بالمنطق الرمزي (مشدداً بصفة خاصة على تطبيقاته). أما الشطر الأكبر من وقتي في هذه الفترة المبكرة، فقد خصصته لانجاز كتابة مؤلفي (البناء المنطقي للعالم) Der Logische Aufbau der Welt، وفور انتهائي منه توجهت إلى فيينا عام ١٩٢٦. وجدت تأثيراً قوياً لفتجنشتين على حلقة فيينا، فقد كان الجميع يبالغون في تقديره. والحقيقة أنه قد أثر بعمق في شليك وويسمان. أما فيما يتعلق بي، ونيوراث، فقد كان تأثيره أقل. وقد سبق لي القول بأنني مدين أكثر لرسل منه إلى فتجنشتين».

والواقع أن انضمام كارناب إلى حلقة فيينا، كان له أكبر الأثر في نشر الدعوة الوضعية الجديدة. اذ بجانب النشاطات التي اضطلع بها مع زملائه الآخرين - والتي سبق أن أشرنا إليها من قبل - كان له انتاج ضخم يكاد يستوعب كل فروع «المعرفة العلمية». واستمر هذا الانتاج العلمي حتى بعد انحسار نشاط الجماعة وانفراط عقدهم، ونزوح كارناب إلى الولايات المتحدة في ديسمبر من العام ١٩٣٥. فقد قبل كارناب عرضاً تقدمت به جامعة شيكاغو لشغل منصب استاذ الفلسفة في عام ١٩٣٦، وظل يقوم بالتدريس فيها حتى عام ١٩٥٢. وقد أصدر أثناء وجوده في شيكاغو بالاشتراك مع أوتونيوراث - الذي استقر أخيراً في أمريكا - تشارلز موريس المنطقي الأمريكي الشهير (الموسوعة الدولية للعلم الموحد)، ثم انصرف كارناب إلى دراسة علوم اللغة، فكانت له عدة مؤلفات هامة في هذا الموضوع من أهمها «مقدمة في علم المعاني» الذي ظهر لأول مرة عام ١٩٤٢، و«الصياغة الصورية للمنطق» عام ١٩٤٣، و«المعنى والضرورة» عام ١٩٤٣. ثم تغير اهتمامه بعد ذلك تدريجياً تجاه مشكلات الاحتمال والاستقراء، فأصدر مؤلفه الهام «الأسس المنطقية للاحتمال» يعارض فيه النظرية التكرارية للاحتمال عند كل من ميزس وريشنباخ. ثم قبل كارناب كرسي الفلسفة بجامعة كاليفورنيا عام ١٩٥٤، الذي أصبح شاغراً بعد وفاة صديقه ريشنباخ، وظل يقوم بالتدريس فيها حتى اعتزاله عام ١٩٦١، ثم توفي عام ١٩٧٠.

بعد أن عرضنا بشكل موجز لتاريخ الحركة عامة، وحياة كارناب خاصة، نعرض الآن أيضاً وبشكل موجز، لأهم أهداف الحركة وعقائدها الرئيسية عامة، واسهام كارناب الأعظم في

ارساء هذه العقائد خاصة .

تعد الوضعية المنطقية نموذجاً متطوراً للمذهب التجريبي. وقد اختار الوضعيون المناطقة المصطلح «منطقي» لكي يوضحوا أنهم معنيون أساساً بالتحليل المنطقي أكثر من إعلانهم عن أطروحات تدور حول الحقيقة النهائية أو المطلقة، أو إعطاء اعتبارات سيكولوجية لأصول أفكارنا وقوانين ترابطها. وطبقاً لكارناب فإن وظيفة التحليل المنطقي هي «تحليل كل المعرفة، وكل تأكيدات العلم والحياة اليومية، لكي توضح معنى كل تأكيد من هذه التأكيدات والروابط التي تنشأ بينها». اما مصطلح «الوضعية» فانه ينسب هذه الحركة الى المذهب التجريبي التقليدي. والمسألة الرئيسية عند التجريبية التقليدية هي التأكيد على أن كل القضايا الهامة إنما تعتمد نظرياً على الإدراك الحسي Sense perception، الذي يعتبر معياراً للوضوح النظري. بيد أن هناك فئة من القضايا الصادقة، ألا وهي قضايا المنطق والرياضيات التي ينظر إليها التجريبيون بوصفها جديرة بالاعتبار، ولكنهم أخفقوا في إخضاعها وبطريقة معقولة إلى معيارهم الخاص بالوضوح النظري. إذ أن نظرية مل التي تذهب إلى أن صدق المنطق والرياضيات إنما يرتكز تماماً وبشكل غير عادي على تعميمات استقرائية تأتي من التجربة الحسية، لم تقنع معظم التجريبيين. لأن التعميمات الاستقرائية لا تتصف بالضرورة التي تبدو عليها القضايا المنطقية والرياضية. وكان المخرج من هذا المأزق الذي تعلق به الوضعيون المناطقة، هو تبني الاطروحة اللوجستيقية (رد الرياضة إلى أصول منطقية)، وهي الأطروحة التي دار حولها كتاب «مبادىء الرياضيات» Principia Mathematicaلكل من رسل وهوايتهد، والتي ترى أن الرياضيات يمكن اشتقاقها من المنطق؛ وعزز ذلك الموقف الاضافة التي أتى بها لودفيج فتجنشتين في كتاب الرسالة، والتي تذهب إلى أن الحقائق المنطقية، إنما هي مجرد تحصيلات حاصل وذلك لتجنب المضمون الواقعي للقضايا. والآن أصبح في مقدور الوضعيين المناطقة أن يعلنوا أن كل القضايا النظرية الهامة تعتمد على الادراك الحسي، فيما عدا قضايا تحصيلات الحاصل التي تعد فارغة من المضمون الواقعي، وهي تلك القضايا التي تستنفد بل والتي استنفذت بالفعل حقائق الرياضيات والمنطق جميعاً .

أما العقيدة الخاصة التي تدين بها الوضعية المنطقية فهي معيار تحقق المعنى الواقعي Verifiability criterion of factual meaning وطبقاً لمعيار التحقق هذا، لا يتحدد المعنى الواقعي لعبارة ما إلا من خلال طريقة تحقق هذا المعنى. وبكلمات أخرى، لكي نعرف ماذا تعني جملة واقعية، علينا أن نعرف ما هي الواقعة التي تدعمها، وما هي الواقعة التي تخفق في تدعيمها، بشرط ألا يسمح بادعاء واقعة لا يمكن ملاحظتها عن طريق الحواس. ويمكن للتحقق

أن يتم بشكل مباشر، كمـا في حالة قولنا «هذا المربع ازرق اللون»، أو بشكل غير مباشر، وكما في حالة قولنا «تتكون الغازات من تجمع الجزئيات». بيد ان الفكرة المحورية في معيار التحقق لا تعتبر اختراعاً خالصاً للوضعية المنطقية، وإنما هي مفهوماً براجماتياً لمعنى «الشيء المدرك» قال به الفيلسوف الأمريكي تشارلز بيرس، كما أنها تعد مذهباً اجرائياً Operationalism قال به الفيزيائي الأشهر اينشتين قبل أن تأخذ به الوضعية المنطقية. أما المصطلح ذاته فهو من صياغة فيلسوف العلم بريدجمان Bridgman. وعلى الرغم من أن مفهوم بيرس يسبق ما قال به اينشتين بحوالي خمسة وعشرين عاماً، إلا أن المذهب الاجرائي لم يؤخذ به في الفيزياء الا بعد أن أدخله اينشتين في نسيج نظريته في النسبية. ولقد فعل اينشتين هذا عن طريق تعريفه لمفهوم التزامن. ومن ثم نجد أن معيار الوضعي لمعنى «واقعي» قد ارتبط ارتباطاً وثيقاً بالمذهب البراجماتي، والمذهب الاجرائي، بيد أن الوضعيين ـ على خلاف اينشتين وبيرس ـ استخدموا هذا المعيار كسلاح رئيسي ضد كافة المذاهب والأفكار الميتافيزيقية.

فقد جعل الوضعيون المناطقة معيار التحقق جزءاً لا يتجزأ من نظرية المعنى عندهم. ونظرية المعنى عندهم تفرق تفريقاً حاسماً بين ما يحمل معنى نظري أو «معرفي» وبين الفارغ من المعنى النظري أو الذي «يفتقر إلى المعنى المعرفي». وينقسم الخالي من المعنى النظري إلى ثلاث فئات فرعية:

١ ـ الخلو من المعنى (أي الكلام غير المفهوم كلية) مثل الكلام الذي يتفوه به الطفل متظاهراً بالحديث.

٢ ـ أساليب الكلام التي تخل بقواعد السنتاكس Sentax (أي قواعد بنـاء الجملة الصحيحة) مثل عبارة وردت في كتاب الفيلسوف الوجودي هيدجر «ما هي الميتافيزيقا» والتي تقرر أن «العدم يعدم نفسه» فهذه العبارة تخطىء مرتين. الأول هي انها تستخدم فعل «يعدم» وهو فارغ من المعنى، والثاني انها تتعامل مع الكلمة «عدم» بوصفها اسماً، وهي في الحقيقة مشتقة من فعل.

٣ ـ التعبيرات «الانفعالية»، ويدخل تحت المعنى «الانفعالي» كل الجمل الميتافيزيقية بالإضافة الى الشعر والأخلاق المعيارية، والدراسات الدينية.

أما الذي يتصف بالمعنى النظري عندهم فهو ينقسم إلى قضايا تخضع إلى معيار التحقق من جهة، وتحصيلات الحاصل (أو نفيها) من جهة أخرى. ولا يسمح بالصدق الضروري في النسق الوضعي الا لتحصيلات الحاصل. فقد جعل الوضعيون ـ وهم تابعون في ذلك لفتجنشتين ـ

الضرورة في تحصيلات الحاصل تنتمي إلى البنية الصورية التي تتجنب المضمون الواقعي، مثل «إما ق أو لا ق» فهي ذات صدق ضروري، لأن هذه الواقعة يمكن البرهنة عليها عن طريق الإحصاء الرياضي .

والحقيقة أن من أكثر أعمال كارناب أهمية وإثارة أثناء السنوات الأولىٰ من تكوين الوضعية المنطقية هي المحاولة التي اضطلع بها لتكوين تصور للفلسفة يتسق مع اعتقادات الوضعية المنطقية. فقد انتهى فتجنشتين في كتاب «الرسالة» إلى أن مهمة الفلسفة هي توضيح الأفكار ومبادىء العلوم من دون أن يكون لها الحق في بناء الأفكار والمبادىء العلمية. ومن ثم فقد حصر فتجنشتين مهمة الفلسفة في دائرة ضيقة جداً، واكتفى بتحديدها في التوضيح والتحليل من دون أن يكون لها واجب إضافة أية معرفة جديدة. فشرع كارناب في بيان المهمة التي لا تزال الفلسفة تضطلع بها، مؤكداً على أن هذه المهمة ليست بالتأكيد الميتافيزيقا، ولا العلوم الطبيعية، ولا المنطق الرياضي. وإنما مهمة الفلسفة هي تحليل مختصر على نمط الذرية المنطقية، ولكنه يختلف عنها في ناحيتين: الأولىٰ هي أن الذريين يرون في التحليل أنه التزود بلغة «واضحة» تكافىء قضايا اللغة العادية بشرط أن يكون معناها وصدقها خاضعين للفهم من قبل الحس المشترك. وكان يعتقد أن المرادفات في هذه اللغة «الموضحة» ارفع منزلة، لأنها تصور الوقائع بشكل اكثر ملاءمة. فإذا اختزلت إلى المستوى الذري النهائي، لكانت صوراً مثالية للوقائع. في حين رأى كارناب، ومعه بقية حلقة فيينا أن هذه الطَريقة للوصف وتبرير التحليل لا تتسق ووجهة نظر الوضعية المنطقية. إذ ان القضايا تتحدث عن علاقة اللغة بالواقعة التي كان يعتقد أنها لا تخضع للاثبات أو التحقق. والثانية، هي أن الذريين يرون أن القضايا التي لا تنتمي إلى المنطق الصوري، لا يكون لها معنى «معرفي»، في حين يرى الوضعيون أن للفلسفة معنى «معرفي». ولا يعني هذا أن يكون لها معنى «امبيريقي». فالقضايا الفلسفية تتحدث عن العلاقات المنطقية (السيمانطيقية)، وخواص التعبيرات اللغوية. ومن ثم تتماثل الفلسفة مع المنطق (السيمانطيقا)، بحيث يتسع هذا المنطق، وبشكل مناسب لتغطية سيمانطيقا لغة العلوم الواقعية، بالإضافة الى سيمانطيقا الرياضيات. وبهذه الطريقة يمكن للفلسفة أن تكون أكثر من مجرد منطق للرياضيات، وفي نفس الوقت تظل الفلسفة مغايرة تماماً للعلوم الواقعية. لأن العلوم الواقعية إنما هي بحث في الطبيعة، بينما الفلسفة بحث منطقي في لغة العلوم الواقعية .

ولغة العلم، كما يفسرها كارناب، هي تلك اللغة الملائمة نظرياً، اعني اللغة التي يمكن أن يقال فيها كل شيء قابل للقول، ويستبعدون من قضاياها اللغو، أي كل ما ليس له معنى. ويرى الوضعي أن الهيكل المنطقي للغة المثالية نظرياً، هو ذلك الهيكل الذي أتى به كتاب رسل

ووايتهد «مبادىء الرياضيات».

ولقد صرح كارناب بأنه يمكن تحديد صورة هذه اللغة عن طريق نوعين من القواعد: يشتمل النوع الأول على قواعد التكوين Formation Rules ، أي قواعد لتكوين قضايا اللغة. ويشتمل النوع الثاني على قواعد التحويل Transformation rules أي قواعد لاشتقاق قضايا من قضايا. ويستنفذ هذان النوعان من القواعد، السيانطيقا.

وعن طريق السيانطيقا يمكن اخضاع قضايا الرياضيات البحتة أو العلوم الواقعية الى التحليل المنطقي، ومن ثم يقال ان للفلسفة مهمة نظرية دون أن نماثل بينها وبين العلوم الواقعية أو المنطق الرياضي. فهي لا تتماثل مع العلوم الواقعية كالفيزياء مثلاً، لأن الفيزياء في الأساس نظام يتحدث عن الطبيعة، بينما تتحدث الفلسفة عن لغة الفيزياء. ولا تتماثل الفلسفة أيضاً مع المنطق الرياضي، لأن لغة الفيزياء أغنى من الرياضيات البحتة.

ولكن لأن تطور العلـــم أدى إلى زيادة كبيرة في قضايا وقوانين العلوم الواقعية، فقد أصبح من مهمة التحليل المنطقي للمعرفة فهم الأسس والمبادىء التي تقوم عليها مفاهيم العلوم الواقعية. لذلك نجد كارناب، وبعض اعضاء جماعة فيينا أمثال نيوراث وشليك يقترحون مفهوماً جديداً لتفسير المعرفة العلمية ألا وهو مفهوم القضايا أو الجمل البروتوكوليـة - Protocol Sentences.

وحيث ان اللغة والواقع مرتبطان ارتباطاً وثيقاً، وأن العلاقة بينهما يشار اليها في قضايا فلسفية، فقد استخدم كارناب التمييز بين المادي - الصوري في اللغة البروتوكولية. ففي المظهر المادي تشير القضايا الأبسط في اللغة البروتوكولية إلى الخبرة أو الظواهر المعطاة بوصف مباشر، فهي الحالات الابسط للمعرفة التي يمكننا أن نتلقاها. ويمكن أن يُقال الشيء نفسه في مظهر صوري، فتصبح القضايا الأبسط في اللغة البروتوكولية، قضايا ليست في حاجة إلى تبرير، وإنما هي تستخدم بوصفها أساساً لجميع قضايا العلوم الأخرى.

والمعتقد الآخر الذي التفت حوله الوضعية المنطقية هو وحدة العلم Unity of Science، ولهذا المعتقد جانبان: الأول هو أن جميع العلوم التجريبية مثل الفيزياء والكيمياء والأحياء وعلم النفس إنما يشتركون في مفردات واحدة. حيث أن لغة الفيزياء مثلاً تكافىء مفردات لغة البروتوكول الفيزيائية، ولكنها لا تتماثل مع لغة الفيزياء الجارية. لأن الفيزياء يمكن أن تتعدل (فنظرية الكم التي تعد الآن «احتمالية» يمكن أن تصبح «حتمية») بينما تظل لغة البروتوكول الفيزيائية تحتفظ بالمضمون الواحد للمفردات العلمية الأساسية. ويعلن الجانب الثاني من برنامج

وحدة العلم أن كل القوانين التي نجدها في جميع العلوم التجريبية انما يمكن اشتقاقها فرضاً من القوانين الفيزيائية. ولكن يظل هذا أملاً افتراضياً، يتحدد صدقه أو كذبه ـ كما يقول كارناب ـ بأن ننتظر حتى نرى كيف تتطور العلوم في الواقع.

ومن أجل توضيح اطروحة المذهب الفيزيائي Physicalism هذا، والبرهان على أن هذا الموقف يمكن تعقله مبدئياً، يحاول كارناب تطبيقه على علم النفس. فنراه يقترح طريقة لتحويل قضية سيكولوجية مثل، «يعاني جون ألماً» إلى قضية تدور حول حالات يمكن ملاحظتها لجسم جون، ويتضمن هذا الأصوات التي تصدر عن جون. والحقيقة أن فكرة التحويل هذه تعد فكرة خصوصية، لأن تحويل القضية لا يشترط التكافؤ المنطقي مع القضية المحولة. ومن ثم فإن المذهب الفيزيائي عند كارناب لا يتطلب التكافؤ المنطقي للقضية «يعاني جون ألماً» مع القضية «جسم جون في الحالة س» وإنما يكفي أن يكون ثمة قانون فيزيائي يؤثر على شخص ما، فيجعله يتألم، اذا وفقط اذا كان جسمه في الحالة س. ومن وجوده في الحالة س مع القانون، يمكننا أن نستنبط كونه في حالة ألم. وبهذا المعنى تتحول القضيتان «يعاني جون ألماً» و«جون في الحالة س» كل منهما إلى الأخرى على الرغم من أنهما غير متكافئتين منطقياً. ويستشهد كارناب بمعيار تحقق المعنى المعرفي لاقناعنا بامكانية هذا التحويل من حيث المبدأ. لأنه إذا استحال التحقق بشكل مباشر أو غير مباشر من قضية سيكولوجية مثل «يعاني جون ألماً» فلا يمكن أن يكون لهذه القضية محتوى معرفي، وبالتالي لا يمكن أن تنتمي هذه القضية إلى علم النفس.

هذه هي مجمل العقائد التي تدين بها الوضعية المنطقية. ولا أريد أن أمضي أبعد من ذلك، حتى أتجنب اللغة الفنية شديدة التعقيد التي طالما أستخدمها الوضعيون المناطقة عامة وكارناب خاصة للتعبير عن تلك العقائد. فأحقق بذلك رغبة كارناب الصادقة في أن يجعل هذا الكتاب، دون بقية كتبه جميعاً، في متناول دائرة أوسع من القراء.

د. السيد نفادي

مقدمَة المؤلف

يعد هذا الكتاب حصيلة محاضرات ألقيتها لفترة من الزمن في «ندوة علمية» وقد أدخلت عليها تعديلات شملت الشكل والمضمون. وكان عنوانها «الأسس الفلسفية للفيـزياء» أو «المفاهيم والنظريات ومناهج البحث في العلوم الفيزيائية». ورغم ادخال بعض التغييرات على مضمون المحاضرات، فإن وجهة النظر الفلسفية ظلت ثابتة بوجه عام. إذ أكـدت الدراسات أهمية التحليل المنطقي للمفاهيم والقضايا ونظريات العلم، أكثر من مجرد الوقوف عند التأمل الميتافيزيقي.

ومارتن جاردنر M. Gardner هو صاحب فكرة تجميع مادة أحاديث «الندوة العلمية» في كتاب. وقد كان مواظباً على حضور دراساتي سنة ١٩٤٦ في جامعة شيكاغو. وفي سنة ١٩٥٨ سألني عما إذا كان الأصل الخطي «للندوة العلمية» في حوزتي، أو عن امكانية كتابتها، وقد عرض في حال وجودها، ان يقوم بإعدادها للنشر. ولم يكن لدي على الاطلاق أية أصول مكتوبة لمحاضرات أو لأحاديث «الندوة العلمية» كما لم تكن لدي رغبة في انتهاز الفرصة لكتابة واحدة منها. وقد حدث أن هذه الدراسات قد تم نشرها كمقرر لنصف العام الدراسي التالي وكان ذلك في خريف سنة ١٩٥٨ في جامعة كاليفورنيا بلوس انجـلوس. واقترح أن تكون أحاديثي ومناقشاتي مسجلة. ولأنني أعي تماماً التفاوت الكبير بين الكلمة المنطوقة والصياغة المناسبة للنشر فقد كنت في البداية متشككاً إلى حد ما من نجاح هذه الخطة، بيد أن أصدقائي حثوني على المضي قدماً في هذا، لأن العديد من وجهات نظري حول المشكلات في فلسفة العلم قد لا تتاح لها فرصة النشر على الاطلاق. وأخيراً، جاءني التشجيع الحاسم من زوجتي التي تطوعت بالفعل لتسجيل هذه الأحاديث والمناقشات، والقيام بنسخها حرفياً. وفي المراحل

الأخيرة من هذا العمل، قدمت لي يد المساعدة التي لا يمكن تقديرها. اذ ان هذا الكتاب يدين لها بالكثير ولكن لم يمتد بها العمر لتراه منشوراً .

ولقد أرسلت نسخة منقولة ومصححة لمارتن جاردنر، وحينئذ بدأ مهمته الصعبة التي انجزها بمهارة وحساسية منقطعتي النظير. اذ انه لم يجعل الأسلوب بسيطاً فحسب، وانما ابتدع طرقاً جديدة لجعل القراءة أسهل بكثير، وذلك عن طريق إعادة ترتيب بعض الموضوعات، وتحسين الأمثلة أو الإسهام في ذكر أمثلة جديدة. ولقد كتبت الفصول عدة مرات، وبين تارة وأخرى أقوم بإجراء تعديلات شاملة أو إضافات أو اقتراحات سبق لجاردنر الادلاء بها. وعلى الرغم من أن «الندوة العلمية» كانت معدة لطلاب جامعة تخرجوا في الفلسفة ولديهم ألفة بالمنطق الرمزي، وكذلك بعض المعرفة الجامعية بالرياضيات والفيزياء، الا انني قررت أن أجعل الكتاب في متناول فهم دائرة أوسع من القراء. ومن اجل هذا تم اختزال عدد كبير من الصياغات المنطقية والرياضية والفيزيائية .

ولم تبذل محاولة في هذا الكتاب لتقديم معالجة نسقية لكل المشكلات الهامة في الأسس الفلسفية للفيزياء. ففي «الندوة العلمية» ـ وأيضاً في الكتاب ـ فضلت أن أحصر نفسي في عدد محدود من المشكلات الرئيسية (كما هو موضح من عناوين الأبواب الستة) وأن اطرحها للمناقشة بدقة اكثر، بدلاً من الانزلاق في مناقشة سطحية لموضوع أوسع. وتتعلق معظم الموضوعات التي عالجتها في هذا الكتاب (عدا الباب الثالث في الهندسة، والفصل الثلاثين في فيزياء الكم) بكل فروع العلم بما في ذلك العلوم البيولوجية والسيكولوجية والعلوم الاجتماعية. لذلك فانني اعتقد أن هذا الكتاب يصلح أيضاً كمدخل عام في فلسفة العلم .

ويطيب لي أن أتوجه بخالص شكري إلى زميلي وشريكي في هذا العمل مارتن جاردنر على اخلاصه واقتداره، كما اقدم له امتناني لعمله الممتاز وأيضاً لدأبه الذي لم ينفذ عندما توانيت طويلاً في إعادة بعض الفصول أو طلبت إجراء تعديلات أكثر .

كما انني اتوجه بالشكر إلى صديقي هربرت فيجل Herbert Feigl وكارل. ج، همبل K.G. Hembel للأفكار الموحية التي قدماها في محادثات استمرت لعدة سنوات، وبصفة خاصة للتعليقات الممتازة على أجزاء من المخطوطة. كما أشكر ابنر شيموني E. Shimony للملاحظات المتخصصة التي أبداها في المسائل المتعلقة بميكانيكا الكم، وفضلاً عن ذلك فانني ممتن للعديد من الأصدقاء والزملاء لمساعدتهم القيمة في اخراج هذا العمل، وإلى طلابي الذين واظبوا على نقل

واحدة أو أكثر من حلقات هذه «الندوة العلمية»، وإلى الذين ألهمت أسئلتهم وتعليقاتهم بعضاً من المناقشات التي دارت في هذا الكتاب .

وأتقدم بالشكر الخاص لدار نشر جامعة ييل على تكرمها بالموافقة على الاقتباسات الشاملة من كتاب كورت ريزلر Kurt Reziler «الفيزياء والواقع» الذي صدر في سنة ١٩٤٠

رودلف كارناب
جامعة كاليفورنيا بلوس انجلوس

فبراير ١٩٦٦

القسم الأول: القوانين والتفسير والاحتمال

الفصل الأول

قِيمَة القَوانين: التَفسير والتنبؤ

تكشف لنا المشاهدات التي نصادفها في الحياة اليومية وأيضاً في المشاهدات الأكثر انتظاماً في العلم، عن تكرارات أو انتظامات في العالم. فالنهار يتبع الليل دائماً، وتتعاقب الفصول بنفس النظام، والنار تحرق دائماً، وتتساقط الأشياء عندما نتركها، وهكذا. والقوانين العلمية ما هي الا تقريرات تعبر عن هذه الانتظامات بأكبر دقة ممكنة.

فإذا لاحظنا انتظاماً معيناً في كل زمان ومكان بلا استثناء، اذن لأصبح مثل هذا الانتظام معبراً عنه في شكل قانون كلي. إليك مثالاً من الحياة اليومية، «كل الثلج بارد»، تؤكد هذه القضية أن أي قطعة ثلج في أي مكان من العالم وأي زمان، في الماضي أو الحاضر أو المستقبل (كانت أو ستكون) باردة. لكن ليست قوانين العلم كلها كلية. فبدلاً من التأكيد على أن ثمة انتظاماً يحدث في كل الحالات، تؤكد بعض القوانين على أنه يحدث فقط في نسبة مئوية من الحالات. ولو قمت بتحديد النسبة المئوية، او بالأحرى، لو أضفيت تقريراً كمياً على العلاقة بين حدث وآخر، اذن لا طلق على هذا التقرير اسم «قانون احصائي». مثال ذلك «التفاح الناضج عماده احمر» أو «نصف الاطفال المولودين كل عام، ذكور تقريباً». والعلم في حاجة إلى كل من هذين النسقين للقانون. وبما أن القوانين الكلية أبسط منطقياً، لهذا السبب سنضعها في اعتبارنا أولاً. وفي هذه الحالة المتقدمة من المناقشة، تجدر الإشارة إلى أن ما نعنيه عادة «بالقوانين» إنما هو القوانين الكلية.

يتم التعبير عن القوانين الكلية بالصورة المنطقية التي تسمى في المنطق الصوري بـ«القضية الشرطية الكلية». (وبالمناسبة فإنني سوف استخدم في هذا الكتاب المنطق الرمزي، ولكن فقط بصورة اولية جداً). دعنا نفترض على سبيل المثال، قانوناً من أبسط النماذج الممكنة،

ألا وهو القانون الذي يؤكد على انه اذا كانت هناك و، وكانت و هي ق اذن لكانت و هي ك ايضاً، ويكتب هذا القانون رمزياً على النحو التالي: .

(و) (ق و ⊂ ك و)

يطلق على الرمز (و) الذي على اليمين اسم «السور الكلي» فهو يخبرنا أن القضية تشير إلى كل الحالات أكثر من كونها نسبة مئوية معينة من الحالات. تبين «ك و» أن و هي ك. أما الرمز «⊂»(*). انما هو أداة ربط. فهو يربط الحد الذي على يمينه بالحد الذي على يساره. وهو يطابق في الانجليزية التقرير «اذ. . . اذ. . .».

فإذا رمز لأي جسم مادي بالرمز (و)، اذن لذكر القانون أنه، بالنسبة لأي جسم مادي و، اذا كانت لـ و الخاصية ق، اذن لكان له أيضاً الخاصية ك. ونقول في الفيزياء على سبيل المثال: «بالنسبة لأي جسم، اذا تم تسخين ذلك الجسم، اذن لتمدد الجسم». وهذا القانون هو قانون التمدد الحراري في صورته الابسط، والذي تمت صياغته بصورة غير كمية. وبالطبع في نطاق الفيزياء، يحاول العالم أن يصوغ القانون بطريقة كمية لكي يضفي عليه من الصفات التي تؤهله الى استبعاد الاستثناءات. ولكن اذا تغاضينا عن مثل هذه التدقيقات، لكانت هذه القضية قضية شرطية كلية، وهي الصورة المنطقية الأساسية لكل القوانين الكلية. نقول في بعض الأحيان، ان ك و لا تنعقد وحدها عندما تنعقد ق و، ولكن العكس صحيح أيضاً، عندما تنعقد ك و وأيضاً ق و. يطلق المناطقة على هذه القضية اسم القضية الشرطية المزدوجة ـ وهي تلك القضية التي تكون شرطية في كل من اتجاهيها. ولكن هذا لا يتعارض مع حقيقة اننا نتعامل في القوانين الكلية كلها، مع شرطيات كلية، لأن القضية الشرطية المزدوجة ما هي الا قضيتان شرطيتان موصولتان .

ليست كل القضايا التي يصوغها العلماء لها مثل هذه الصورة المنطقية. قد يقول عالم: «اكتشف الاستاذ سميث في البرازيل أمس أنواعاً جديدة من الفراشات». فهذه القضية ليست قانوناً، وانما هي تتحدث عن زمان ومكان معينين، وتقرر أن شيئاً ما حدث في ذلك الزمان والمكان. فمثل هذه القضايا انما تتحدث عن وقائع مفردة، ويطلقون عليها اسم «القضايا المفردة».

(*) يطلق على هذا الثابت اسم ثابت التضمن Implication، وهو أحد الثوابت المنطقية الهامة التي يعتمد عليها النسق الاستباطي عند رسل وهوايتهد في كتابها المشترك «مبادىء الرياضيات» الذي صدرت طبعته الأولى في ثلاثة أجزاء في الأعوام ١٩١٠ ـ ١٩١٣. وثابت التضمن يتم التعبير عنه لغوياً بلفظي الشرط وجوابه الذي يتخذ صورة القضية إذا. . . إذن» وتسمى أيضاً القضية الشرطية . (المترجم) .

وبالطبع فإن جميع معارفنا في الأصل قضايا مفردة، ملاحظات فردية، لأشخاص فرادى. والحقيقة أن احدى المسائل الكبرى المحيرة في فلسفة العلم هي كيف يمكننا المضي في مثل هذه القضايا المفردة إلى إثبات القوانين العلمية. علينا أن نتوخى الحذر جداً، عندما يصوغ العلماء القضايا بلغة الكلمات العادية بدلاً من لغة المنطق الرمزي الأكثر دقة، وذلك حتى لا نخلط بين القضايا المفردة والقضايا الكلية. إذا كتب عالم نبات في كتاب مدرسي أن «الفيل سباح ممتاز» فهو لا يعني أن هناك فيلاً معيناً، شاهده منذ عام في حديقة الحيوان، وأنه سباح ممتاز. وإنما عندما يذكر «الفيل» فهو يستخدم أداة التعريف «الـ» بالمعنى الأرسطي. فهو يشير إلى الفئة الكلية للفيلة.

ولقد ورثت جميع اللغات الأوروبية هذه الصيغة في الحديث، من اليونانيين (وربما من لغات أخرى ايضاً) وهي الصيغة المفردة فئة (فصل) أو جنس. عندما قال اليونانيون «الانسان حيوان عاقل» كانوا يعنون بالطبع الانسان كله وليس انساناً معيناً، وبنفس الطريقة نقول «الفيل» عندما نعني بذلك الفيلة كلها، أو نقول «يتميز التدرن بالأعراض التالية. . .» عندما لا نشير بذلك إلى حالة مفردة للتدرن، وإنما إلى كل الحالات. ولسوء الحظ نجد أن المسؤول عن هذا الغموض، إنما هو لغتنا، لأنها مصدر للكثير من سوء الفهم. وغالباً ما يشير العلماء إلى قضايا كلية ـ أو على الأقل إلى ما هو معبر عنه بمثل هذه القضايا ـ باعتبارها «حقائق»، متناسين أن كلمة «حقيقة» إنما كانت منطبقة في الأصل (وسوف نقتصر في تطبيقها على هذا المعنى) على المفرد، على الوقائع الجزئية. إذا سألنا عالماً عن قانون التمدد الحراري، وربما أجاب «اوه التمدد الحراري. انه واحد من الحقائق الأساسية المألوفة في الفيزياء». ربما يتحدث بطريقة مماثلة عن حقيقة أن الحرارة تتولد من تيار كهربي، وحقيقة أن المغناطيسية تنتج من الكهربية وهلم جرا. وفي بعض الأحيان يعتبر أن هذه «الوقائع» مألوفة للفيزياء. وحتى نتجنب سوء الفهم، نفضل الا نطلق على مثل هذه القضايا (وقائع). فالوقائع إنما هي أحداث جزئية. «قمت هذا الصباح بتوصيل تيار كهربي في المعمل، وذلك من خلال سلك موصل للتيار إلى جسم من حديد، ووجدت أن جسم الحديد أصبح ممغنطاً». تلك واقعة. إذا لم أكن قد خدعت نفسي بطريقة ما. ومع ذلك إذا كنت واعياً وإذا لم تكن الحجرة شديدة الظلام، وإذا لم يقم أحد الأشخاص بلحام الجهاز بالقصدير بطريقة خفية بغرض السخرية مني، اذن لأمكنني أن أقرر طبقاً للملاحظة الفعلية أنه في هذا الصباح تمت الأحداث السالفة بالتتابع.

عندما نستخدم كلمة «واقعة» سنعني بها المعنى الجزئي، حتى نميزها بوضوح عن القضايا الكلية سنطلق على مثل هذه القضايا الكلية اسم «قوانين» حتى عندما تكون هذه القضايا أولية مثل

قانون التمدد الحراري أو أكثر أولية مثل القضية «كل الغربان سوداء». لا اعرف اذا كانت هذه القضية صادقة أو لا، لكنني سأفترض صدقها ـ وسأعتبرها قانوناً في علم الحيوان. ربما تحدث عالم حيوان عن أمثال هذه القضايا مثل «الغراب أسود» أو «للأخطبوط ثماني أذرع» باعتبارها «حقائق» ولكن في اصطلاحنا الأكثر دقة سنعتبر هذه القضايا قوانين.

سنقوم أخيراً بالتمييز بين نوعين من القوانين ـ امبيريقية (تجريبية)، ونظرية. تعد القوانين التي ذكرتها في الحال، من النوع البسيط الذي يسمى عادة «تعميمات امبيريقية» أو «قوانين امبيريقية»، وهي بسيطة لأنها تتكلم عن خواص مثل اللون الأسود أو الخواص المغناطيسية لقطعة حديد، وهي تلك الخواص التي يمكن أن نلاحظها بشكل مباشر. وقانون التمدد الحراري، على سبيل المثال تعميم مبني على عدة ملاحظات مباشرة لأجسام تتمدد بالتسخين. وعلى العكس من ذلك القوانين النظرية فهي مفاهيم غير قابلة للملاحظة كالجسميات الأولية والمجالات الكهرومغناطيسية التي ينبغي التعامل معها بالقوانين النظرية. سنناقش كل هذا فيما بعد. ولكنني اذكرها هنا خشية أن تعتقد ان الأمثلة التي سقتها لم تغط نوعي القوانين التي ربما تكون قد تعلمتها في الفيزياء النظرية.

وخلاصة القول، يبدأ العلم بملاحظات مباشرة لوقائع مفردة، ولا شيء آخر يمكن ملاحظته. بالتأكيد لا يمكن ملاحظة الانتظام بشكل مباشر، وإنما يتم اكتشاف الانتظامات عندما نقوم بمقارنة العديد من الملاحظات الواحدة بالاخرى. يتم التعبير عن مثل هذه الانتظامات بقضايا تسمى «قوانيناً».

ما الفائدة التي تعود علينا من هذه القوانين؟ وما هي الأغراض التي يستفاد منها سواء في العلم أو الحياة اليومية؟ الإجابة هنا مزدوجة. إنها تستخدم لتفسير الوقائع التي تمت معرفتها، كما أنها تستخدم للتنبؤ بالوقائع التي لم تعرف بعد.

دعنا نرى أولاً كيف تستخدم قوانين العلم للتفسير. لا يمكن أن يكون ثمة تفسير دون الإشارة إلى قانون واحد على الأقل (تستخدم في الحالات البسيطة قانون واحد فقط، ولكن الحالات الأكثر تعقيداً فإنها تشتمل على مجموعة من القوانين). ومن المهم التأكيد على هذه النقطة، لأن الفلاسفة قد أصروا على أن في إمكانهم تفسير وقائع معينة في التاريخ أو الطبيعة أو الحياة الانسانية بطريقة مختلفة إلى حد ما. وهم يفعلون ذلك عادة عن طريق تخصيص نمط ما لعامل أو قوة يكون مسؤولاً بشكل أو بآخر عن الحادث الخاضع للتفسير.

وهناك بالطبع، في الحياة اليومية شكل مألوف للتفسير. يسأل شخص ما: «أين ساعتي

التي تركتها على المنضدة قبل أن أغادر الغرفة، ولم تعد موجودة هنا؟» وتجيب؟ «انني رأيت جون يدخل الغرفة ويأخذها». هذا هو تفسيرك لاختفاء الساعة. ربما لا يعد هذا تفسيراً كافياً. لماذا أخذ جون الساعة؟ هل في نيته سرقتها أم مجرد استعارتها؟ ربما أخذها وهو يعتقد اعتقاداً خاطئاً أنها ملكه. أجيب عن السؤال الأول «ماذا حدث للساعة؟» بقضية تعبر عن واقعة: جون اخذها. ويمكن الاجابة عن السؤال الثاني «لماذا أخذها جون؟»: بواقعة أخرى: استعارها للحظة. ولذلك يبدو أننا لسنا في حاجة إلى قوانين على الاطلاق - اننا نسأل لتفسير واقعة، وحصلنا على واقعة ثانية. اننا نسأل لتفسير واقعة ثانية وحصلنا على ثالثة. المطالبة بتفسيرات أبعد تمكننا من اكتشاف وقائع أخرى. لماذا اذن يصبح من الضروري أن نستشهد بقانون لكي نحصل على تفسير مناسب لواقعة ما؟

الإجابة هي أن تفسيرات الواقعة إنما هي في الحقيقة تفسيرات قوانين بشكل آخر. وعندما نفحصها بعناية اكثر، نجد أنها قضايا مختصرة غير مكتملة تفترض ضمناً قوانين معينة، ولكنها قوانين مألوفة لذلك فهي ضرورية للتعبير عنها. في المثال التوضيحي المتعلق بالساعة، لم تكن الإجابة الأولى «أخذها جون» تفسيراً مرضياً، لو لم نفترض قانوناً كلياً: عندما يأخذ شخص ما ساعة من على منضدة، فإن الساعة لن تكون حينئذ على المنضدة. الإجابة الثانية «استعارها جون» تفسيرية، لأننا سلمنا جدلاً بالقانون العـام: اذا استعار شخص ما ساعة ليستخدمها في مكان ما، انما هو قد أخذ الساعة وحملها بعيداً .

تأمل مثالاً آخر. نسأل تومي الصغير لماذا يبكـــي، ويجيب بواقعة أخرى «ضربني جيمي على أنفي». لماذا نعتبر هذا تفسيراً كافياً؟ لأننا نعرف أن الضرب على الأنف يسبب ألماً، وأن الأطفال يبكون عندما يتألمون. هذه قوانين سيكولوجية عامة، وهي معروفة جيداً، حتى أن تومي افترضها عندما اخبرنا عن سبب بكائه. لو كنا نتعامل مع طفل مريخي (ساكن المريخ) وكنا نعرف القليل جداً، عن القوانين السيكولوجية المريخية، لما أمكن إذن لقضية بسيطة عن واقعة أن تعتبر تفسيراً مناسباً لسلوك الطفل. فإذا لم ترتبط الوقائع بوقائع أخرى عن طريق قانون واحد على الأقل، ويذكر بوضوح أو يفهم بالاستنتاج، اذن لما أمدتنا هذه الوقائع بتفسيرات .

يتضمن النسق العام في كل تفسير، ما يمكن التعبير عنه بالصيغة الرمزية التالية:

١ - (و) (ق و $\supset$ ك و)

٢ - ق أ .

٣ - كَ أ .

القضية الأولى قانون كلي، ينطبق على أي موضوع و. تؤكد القضية الثانية أن موضوعاً معيناً أ له الخاصية ق. لو قمنا بضم هاتين القضيتين معاً، لامكننا أن نستنتج منطقياً القضية الثالثة: للموضوع أ الخاصية ك .

في العلم كما في الحياة اليومية لا يتم ذكر القانون الكلي بوضوح دائماً. لو أنك سألت عالم فيزياء: «لماذا أصبح هذا القضيب الحديدي ـ الذي كان منذ لحظة مناسباً تماماً للدخول في هذا الجهاز ـ أصبح الآن أطول قليلاً بحيث لم يعد مناسباً للدخول؟» ربما اجابك بقوله: «عندما كنت خارج الغرفة قمت بتسخين القضيب» انه يفترض بالطبع انك تعرف قانون التمدد الحراري، وإلا لكان أضاف إلى هذا قوله: «وعندما يسخن جسم، فإنه يتمدد». لكي يجعلك تفهم. من الضروري تفسير القانون العام. فإذا كنت تعرف القانون، ويعرف هو أنك تعرفه، لما شعر بالحاجة إلى ذكر القانون. ولهذا السبب، غالباً ما تبدو التفسيرات ـ وخصوصاً في الحياة اليومية حيث نسلم جدلاً بقوانين الحس المشترك ـ مختلفة تماماً عن المنهج الذي قمت بوضعه. وفي حالة اعطاء تفسير، ما تكون القوانين المعروفة أحياناً فقط هي التي تنطبق بطريقة إحصائية أكثر من كونها تنطبق بطريقة كلية. ينبغي في مثل هذه الحالات أن نقنع بتفسير احصائي. لعلنا نعرف على سبيل المثال أن هناك نوعاً معيناً من عش الغراب(*) سام قليلاً، ويسبب أعراضاً معينة من المرض بنسبة تسعين في المائة ممن يأكلونه. لو اكتشف طبيب هذه الأعراض عند فحصه لمريض، وأبلغه المريض أنه تناول في اليوم السابق هذا النوع المعين من عش الغراب، إذن لاعتبر المريض أن هذا إنما هو تفسير الأعراض، بل حتى إذا اشتمل القانون على حالة إحصائية واحدة فقط، فهذا تفسير حقاً.

وحتى اذا أتى قانون احصائي بتفسير ضعيف جداً، فإنه يظل مع ذلك تفسيراً. يمكن أن يقرر مثلاً قانون طبي احصائي أن خمسة بالمائة من الناس الذين يتناولون نوعاً معيناً من الطعام يصابون بمرض معين. ولو ذكر الطبيب ذلك للمريض على اعتبار أنه تفسير لحالته، لما اقتنع المريض ولقام بسؤاله «ولماذا أكون انا الوحيد ضمن الخمسة بالمائة؟» ربما يكون الطبيب قادراً في بعض الحالات على طرح تفسيرات اضافية، وربما يقوم باختبار حساسية المريض لبعض الاطعمة، ويجد عنده فرط حساسية من هذا النوع من الطعام, ويخبر المريض: لو انني عرفت هذا لكنت حذرتك من هذا الطعام ، فإننا نعلم أن الناس الذين عندهم مثل هذه الحساسية، ويتناولون هذا الطعام، يظهر عند ٩٧ بالمائة منهم مثل هذه الأعراض التي عندك. يرضي هذا

(*) نوع من النباتات الفطرية سريعة النمو والزوال. (المترجم) .

القول المريض على اعتبار أنه تفسير قوي. وسواء أكانت التفسيرات قوية أم ضعيفة، فهي تفسيرات حقيقية. وفي حالة عدم معرفة القوانين الكلية تصبح التفسيرات الاحصائية غالباً هي التفسيرات الوحيدة النافعة.

وفي المثال الذي قمنا بسوقه، تعد القوانين الاحصائية أفضل ما يمكن ذكره، لأنه ليس لدينا معرفة طبية كافية لضمان ذكر قانون كلي. وهناك جهل مشابه ينشأ عن القوانين الاحصائية كما هو في الاقتصاد وبعض المجالات الأخرى للعلوم الاجتماعية. فالمعرفة المحدودة بالقوانين السيكولوجية مثلاً، أساس تلك القوانين وكيف أنها تعتمد في النهاية على القوانين الفيزيائية يجعل من الضروري أن تقوم بصياغة قوانين العلوم الاجتماعية في حدود احصائية. واذا كنا نقابل في نظرية الكم قوانين احصائية، فلا ينبغي أن يكون ذلك نتيجة لجهلنا، فهي تعبر عن البنية الاساسية للعالم. ويعد مبدأ اللاتعيين المشهور لهيزنبرج(*) Heisenberg من أفضل الأمثلة المعروفة في هذا الصدد. يعتقد العديد من الفيزيائيين أن كل قوانين الفيزياء تعتمد إلى حد كبير على قوانين أساسية، وهي مع ذلك قوانين احصائية. إذا كان الحال هكذا، فعلينا أن نقنع بالتفسيرات التي تقوم على قوانين احصائية.

وماذا عن قوانين المنطق الأولية التي تشتمل على كل التفسيرات؟ هل تصلح على الدوام، باعتبارها قوانين كلية، أن يعتمد عليها في التفسير العلمي؟ كلا، لا تصلح. والسبب في ذلك أنها قوانين من نوع مختلف تماماً. صحيح أن قوانين المنطق والرياضيات البحتة (ولا تدخل الهندسة الفيزيائية في ذلك، لأنها شيء ما غير ذلك) كلية إذ انها لا تخبرنا بشيء عن العالم. انها تذكر فقط علاقات تنشأ بين تصورات معينة. ليس لأن العالم له البناء كذا وكذا، ولكن فقط لأن التصورات هذه يتم تعريفها بوسائل معينة.

وإليك مثالين لقوانين منطقية بسيطة:

١ - إذا كانت ق، ك، اذن تكون ق.

٢ - إذا كانت ق، اذن تكون ق أو ك.

لا يمكن أن تتعارض هاتان القضيتان لأن صدقهما قائم على معاني الحدود المشتملة عليهما. يقرر القانون الأول، أنه إذا افترضنا فقط صدق القضيتين ق و ك، لكان علينا أن نفترض صدق القضية ق. يأتي القانون من الطريقة التي استخدمنا بها «و» ز «اذن». يؤكد القانون الثاني على أننا

(*) هو ذلك المبدأ الذي يقرر أن هناك قدراً محدداً من اللاتحدد فيما يتعلق بالتنبؤ بمسار الجزيء، مما يجعل من المستحيل التنبؤ بهذا المسار بدقة. (المترجم).

إذا افترضنا صدق القضية ق لكان علينا ان نفترض إما أن تكون ق أو ك صادقة. و إذا ذكرنا ذلك في كلمات لجعلنا القانون غامضاً، لأن الكلمة «أو» في اللغة الانجليزية لا تميز بين معنى شامل «أما أو كل من» (either or both) ومعنى غير شامل (إما ولكن ليس كلاً من) (either but not both).
واذا أردنا أن نجعل القانون مصاغاً بشكل محكم، لقمنا بالتعبير عنه رمزياً على النحو التالي:

ق ⊂ (ق ∨ ك)

حيث اننا نفهم الرمز (∨) بالمعنى الشامل لكلمة «أو» ويمكن لهذا المعنى أن يصبح أكثر صورية. وذلك بأن نقوم بعمل جدول لحالات صدقه. ونتمكن من عمل ذلك عن طريق بيان كل التركيبات الممكنة لقيم الصدق (الصدق أو الكذب) للحدين المرتبطين بالرمز، وعندئذ نحدد أي التركيبات التي يسمح بها الرمز وأيها الذي لا يسمح.

والتركيبات الأربعة الممكنة للقيم هي:

ق	ك
١ ـ صادقة	صادقة.
٢ ـ صادقة	كاذبة.
٣ ـ كاذبة	صادقة.
٤ ـ كاذبة	كاذبة.

الرمز «∨» محدود بالقاعدة التي تقول ان «ق ∨ ك» صادقة في الحالات الثلاث الأولى وكاذبة في الحالة الرابعة. والرمز «⊂» الذي يترجم في اللغة الانجليزية بشكل تقريبي بـ«اذا... اذن» يمكن تعريفه بدقة اذا قلنا انه يصدق في الحالة الأولى، والثالثة، والرابعة، ويكذب في الحالة الثانية. فهمنا من قبل، التعريف بكل حد في القانون المنطقي، ورأينا بوضوح أنه ينبغي على القانون أن يكون صادقاً نوعاً ما، لأنه مستقل عن طبيعة العالم، فهو ضروري الصدق، يسري صدقه ـ كما يقول الفلاسفة في بعض الاحيان ـ على كل العوالم الممكنة.

هذا هو صدق المنطق، أما صدق القوانين الرياضية، فإننا نحصل عليه عندما نحدد بدقة معاني «١» و«٣» و«٤» و«+» و«=». فإن صدق القانون ١ + ٣= ٤ يستتبع مباشرة من هذه المعاني. ونصادف هذه الحالة في الرياضيات البحتة، حتى في أكثر المسائل تجريداً. تسمى البنية «مجموعة» اذا حققت على سبيل المثال بديهيات معينة تعرف المجموعة. يمكن أن يعرف المكان

الاقليدي ذي الثلاثة أبعاد جبرياً، باعتباره مجموعة من المضاعفات الثلاثية المنتظمة لأعداد حقيقية. يتحقق ذلك في شروط أساسية معينة. ولكن كل هذا لا يعني شيئاً بالنسبة إلى طبيعة العالم الخارجي. فليس ثمة عالم ممكن لا تنعقد فيه قوانين المجموعة النظرية، ولا الهندسة المجردة ذات الأبعاد الإقليدية الثلاثة. لأن هذه القوانين تعتمد فقط على معاني الحدود المتضمنة فيها، وليس على بناء العالم الواقعي الذي قد يتصادف وأن نراها متحققة فيه.

العالم الواقعي هو ذلك العالم الذي يتغير باستمرار. فنحن على يقين من أن أكثر القوانين أساسية في الفيزياء تختلف قليلاً من قرن إلى آخر. ولكن مثل هذه التغيرات لا يمكنها أن تحطم أبداً صدق قانون منطقي أو حسابي واحد، مهما كانت درجة تأثيرها.

هناك اصوات تبدو درامية إلى حد بعيد، وربما يشوبها نوع من المواساة، تعلن: ها نحن قد وجدنا اليقين أخيراً. صحيح أننا قد توصلنا إلى اليقين، ولكن من أجل هذا دفعنا ثمناً غالياً جداً. الثمن هو أن قضايا المنطق والرياضيات لا تخبرنا بأي شيء عن العالم. يمكننا أن نتيقن بالطبع أن ثلاثة زائد واحد يساوي أربعة، لأن هذا يتحقق في أي عالم ممكن، فهو لا يخبرنا بأي شيء عن العالم الذي نحيا فيه.

ما الذي نعنيه «بعالم ممكن»؟ انه ببساطة العالم الذي يمكن وصفه دون وقوع في تناقض. قد يكون عالم الحوريات، أو حتى أكثر العوالم خيالية، بشرط أن يتم وصفها في حدود منطقية متماسكة. يمكنك مثلاً أن تقول: «احتفظ في عقلي بعالم يدور فيه ألف حادث تماماً، لا أكثر ولا أقل. يظهر في الأول مثلث أحمر وفي الثاني مربع أخضر، ومع ذلك، لأن الحادث الأول كان أزرق وليس احمر....» وعند هذه النقطة أقاطعك: «ولكنك ذكرت لي في اللحظة الماضية أن الحادث الأول أحمر، وتقول الآن أنه أزرق. إنني لا أستطيع فهمك». ربما أكون قد سجلت ملاحظاتك على شريط، وأنني استرجع الشريط لكي أقنعك أن ما ذكرته متناقض. فإذا أصريت على وصفك هذا الذي يحمل هذين التقريرين المتناقضين، فانني سأصر عندئذ على أنك لم تصف لي أي شيء يمكن أن يتصف بصفة العالم الممكن.

ويمكنك من ناحية أخرى أن تصف عالماً ممكناً على هذا النحو: «هناك رجل ينكمش حجمه، يصبح أصغر فأصغر. وفجأة يتحول إلى طائر. وعندئذ يصبح الطائر ألف طائر. تطير هذه الطيور في السماء، وتتجاذب السحب أطراف الحديث عما حدث». هذا كله عالم ممكن. خيالي نعم، ولكنه غير متناقض.

معنى هذا أن العوالم الممكنة عوالم معقولة، ولكنني احاول أن اتجنب الحد «معقول»، لأنه

يستخدم عادة بمعـان محدودة جداً، أي «ربما يمكن تخيله فقط عن طريق كائن انساني». يمكن وصف العديد من العوالم الممكنة، ولكن لا يمكن تخيلها. يمكن أن نناقش، مثلاً، استمرارية في كل المواضع المحددة بأحداثيات معقولة حمراء، وجميع مواضع محددة باحداثيات غير معقولة زرقاء. فإذا كنا في وضع يسمح لنا بإمكانية وصف ألوان المواضع، اذن لكان هذا عالماً غير متناقض، انه عالم مدرك بأوسع معنى للكلمة، ذلك لأننا يمكننا افتراضه بلا تناقض. وهو غير مدرك بالمعنى السيكولوجي. إذ لا يمكن لشخص ما أن يتخيل استمرارية مواضع غير ملونة، يمكننا أن نتخيل نموذجاً فجاً للاستمرارية، يكون محتوياً على مواضع متراصة بإحكام شديد. العوالم الممكنة هي العوالم المدركة بأوسع معنى للكلمة. فهي العوالم التي يمكن وصفها دون وقوع في تناقض منطقي.

لا يمكن استخدام قوانين المنطق والرياضيات البحتة، بحكم طبيعة هذه القوانين، كقاعدة للتفسير العلمي، لأنها لا تخبرنا عن شيء يميز العالم الواقعي عن أي عالم آخر ممكن. فعندما نسأل عن تفسير لحقيقة ما، أو ملاحظة نوعية في العالم الفعلي، علينا أن نستخدم قوانين امبيريقية. لن يكون لها طابع اليقين الذي نجده في القوانين المنطقية والرياضية، لكنها يمكن أن تنبئنا بشيء ما عن بناء العالم.

أعلن في القرن التاسع عشر، علماء فيزياء ألمان، أمثال جوستاف كيرشهوفGustav Kirchhoff وأرنست ماخ Ernst Mach أنه لا يحق للعلم أن يبحث في «لماذا؟» ولكن عليه أن يبحث عن «كيف؟». وكانوا يعنون بذلك، أنه لا ينبغي للعلم أن يبحث عن عوامل ميتافيزيقية مجهولة، تكون مسؤولة عن حوادث معينة، وإنما ينبغي فقط أن توصف مثل هذه الحوادث في حدود القوانين. ينبغي أن نتفهم هذا الحظر الذي كان مفروضاً على السؤال «لماذا؟» في سياقه التاريخي. إذ كانت الخلفية هي المناخ الفلسفي الألماني في العصر الذي كان يسوده المثالية التقليدية لفخته وشلنج، وهيجل. شعر هؤلاء الرجال أن وصف العالم بالسؤال كيف، لم يكن كافياً. أرادوا فهماً أكمل. واعتقدوا أنهم يمكنهم الوصول إلى هذا الفهم عن طريق أسباب ميتافيزيقية تكمن خلف الظواهر وليست في متناول المنهج العلمي. قاوم علماء الفيزياء وجهة النظر هذه، بقولهم: دعونا وشأننا، وخذوا معكم اسئلتكم لماذا. فليس ثمة اجابة عنها في حدود القوانين الامبيريقية. اعترضوا على أسئلة ـ لماذا لأنها كانت دائماً أسئلة ميتافيزيقية.

ولقد تغير اليوم هذا المناخ الفلسفي. ومع ذلك هناك في ألمانيا فلاسفة قلائل، لا يزالون منخرطين في التقليد المثالي، أما في انجلترا والولايات المتحدة فقد اختفى هذا عملياً. ونتيجة

لذلك، لم تعد تقلقنا أسئلة لماذا. ولم نعد نقول «لا تسأل لماذا» لأنه عندما يسأل شخص ما الآن لماذا، فاننا نفترض أنه يعني به معنى علمياً، لا ميتافيزيقياً. انه يسألنا ببساطة أن نفسر شيئاً ما، بوضعه في إطار القوانين الامبيريقية.

عندما كنت شاباً صغيراً، وعضواً في دائرة فيينا، كانت بعض نشراتي المبكرة مكتوبة كرد فعل على المناخ الفلسفي للمثالية الألمانية. ونتيجة لذلك، كانت هذه النشرات، وتلك التي كتبها آخرون من دائرة فيينا، مليئة بتلك العبارات التي تحظر الأشياء التي ناقشناها من قبل. وعلينا أن نتفهم هذه المحظورات من السياق التاريخي الذي نجد أنفسنا متواجدين فيه. أما اليوم، وبصفة خاصة في الولايات المتحدة، لم نعد نضع مثل هذه المحظورات. نوع المركبات التي نستخدمها هنا ذات طبيعة مختلفة. وغالباً ما تحدد طبيعة المركبات الواحدة، الطريقة التي يمكن أن تعبر بها وجهات النظر الواحدة.

عندما نكون بصدد تفسير حقيقة ما، وقلنا انه لابد من استخدام قانون علمي، فإن ما نرغب في استبعاده على وجه الخصوص، هو وجهة النظر التي تنادي باستبقاء العوامل الميتافيزيقية، حتى قبل أن نتمكن من تفسير الحقيقة بشكل مناسب.

في العصور قبل العلمية، كان هذا هو نوع التفسير الذي يقدمونه. كان يعتقد أن العالم مسكون بأرواح أو شياطين لا يمكن ملاحظتهم بشكل مباشر، ولكنهم كانوا المسؤولين عن سقوط المطر، وفيضان النهر، وضوء البرق. فأي حادث يراه المرء، فلابد أن يكون هناك شيء ما أو بالأحرى، شخص ما مسؤول عن هذا الحادث. يمكن إدراك هذا سيكولوجياً. إذا اقترن انسان بشيء ما لا احبه، من الطبيعي بالنسبة لي أن اعتبره مسؤولاً عنه، وأن أصب جام غضبي عليه، وأضربه. وإذا أمطرت سحابة فوقي مطراً، فلا يمكنني أن أضرب السحابة، ولكني استطيع أن أجد منفثاً لغضبي إذا جعلت السحابة، أو شيطاناً ما غير مرئي قابعاً خلف السحابة هو المسؤول عن المطر. استطيع أن أصب اللعنات على هذا الشيطان، وأهز له قبضتي، فيزول عني الغضب، وأشعر بارتياح. من الميسور أن نفهم كيف وجد أفراد المجتمعات قبل العلمية قناعة سيكولوجية في تخيل محركات خلف ظواهر الطبيعة.

في هذا العصر، كما نعلم، تخلت المجتمعات عن أساطيرها، ولكن في بعض الأحيان، يضع العلماء المحركات محل الأرواح، حيث انها لا تختلف في الحقيقة عنها كثيراً. كتب الفيلسوف الألماني هانز دريتش Hans Driesch المتوفى عام ١٩٤١، كتباً عديدة في فلسفة العلوم، وكان في الأصل عالماً بيولوجياً بارزاً، اشتهر بعمله في الاستجابات العضوية المعينة، بما فيها التولد في

قنافذ البحر، بتر اطراف من اجسادها وأراد أن يلاحظ في أي مراحل نموها وتحت أي الظروف يمكن أن تنمو لها أطراف جديدة. كان عمله العلمي هذا هاماً وممتازاً، ولكن كان دريتش مهتماً أيضاً بالمسائل الفلسفية، وبصفة خاصة تلك التي تتعامل مع أسس البيولوجيا، لذلك أصبح أخيراً أستاذاً للفلسفة. أنجز في الفلسفة أيضاً بعض الأعمال الممتازة، ولكن لأن فلسفته كانت تتصف بمظهر معين، فقد جعلني هذا وأصدقائي في حلقة فيينا لا ننظر إليه بالتقدير الكافي. كانت له طريقته في تفسير العمليات البيولوجية باعتبار أنها تولد وتتكاثر.

في الوقت الذي أنجز فيه دريتش عمله البيولوجي، كان الاعتقاد السائد هو أن العديد من خواص الكائنات الحية، لا يمكن أن توجد في غيرها (ونرى اليوم بوضوح أكثر أن هناك صلة مستمرة للعوالم العضوية وغير العضوية). أراد أن يفسر هذه الخواص العضوية الفريدة، لذلك نراه يفترض ما أطلق عليه اسم «انتلخيا» Entelechy. أدخل أرسطو هذا المصطلح، ولكن كان له معنى خاص عنده، ولسنا في حاجة إلى مناقشة هذا المعنى هنا. قال دريتش: «الانتلخيا هي قوة خاصة معينة تجعل الكائنات الحية تتصرف بالطريقة التي تتصرف بها. ولكنك لا ينبغي أن تعتقد أن الانتلخيا هذه قوة فيزيائية مثل الجاذبية أو المغناطيسية، أوه، كلا، انها لا شيء من هذا».

أكد دريتش على أن انتلخيات الكائنات العضوية لها أنواع متعددة، تعتمد على المرحلة العضوية للتطور. ففي الكائنات العضوية الأولية، وحيدة الخلية، تكون الانتلخيا اكثر بساطة. وعندما نصعد سلم التطور، من خلال النباتات والحيوانات الأدنى، والحيوانات الأعلى وأخيراً إلى الإنسان، تتعقد الانتلخيا أكثر فأكثر. يبدو هذا بأعلى درجة في الظواهر التي اكتملت فيها اعلى أشكال الحياة. فما نسميه «بالعقل» في الجسم الإنساني ليس بالفعل سوى جانب من انتلخيا الشخص. فالانتلخيا شيء أكثر بكثير من العقل، أو على الأقل، اكثر من العقل الواعي، لأنها مسؤولة عن كل شيء تفعله كل خلية في الجسم. لو جرح اصبعي تتكون خلايا جديدة للاصبع، وتجلب عناصر للجرح تقتل البكتريا الداخلة. لا توجه هذه الحوادث بالفعل عن وعي. فهي تحدث في اصبع طفل عمره شهر لم يسمع قط عن قوانين الفسيولوجيا. كل هذا راجع، كما يؤكد دريتش، إلى تركيب الانتلخيا العضوي، الذي يكون العقل واحداً من تجلياتها. إذن التفسير العلمي كان عند دريتش نظرية محكمة في الانتلخيا، تلك التي قدمها كتفسير فلسفي لظواهر لا يمكن تفسيرها علمياً مثل تولد أعضاء قنافذ البحر.

هل يعد هذا تفسيراً؟ لقد اجريت وأصدقائي مناقشات عديدة مع دريتش حول هذا

الموضوع. وأتذكر أنني وهانز رايشنباخ انتقدنا نظرية دريتش في المؤتمر العالمي للفلسفة المنعقد في براغ عام ١٩٣٢، وتصدى هو وآخرون للدفاع عنها، ولم نفرد مساحات كبيرة في نشراتنا لهذا النقد، لأن العمل الذي أنجزه دريتش في كل من البيولوجيا والفلسفة قد حاز على اعجابنا. كان يختلف تماماً عن معظم الفلاسفة في ألمانيا في أنه أراد بالفعل أن يطور فلسفة علمية. ومع ذلك فقد بدى لنا أن نظريته في الانتلخيا تفتقر إلى شيء ما.

ما هذا الذي تفتقره: انه الفراسة، فأنت لا يمكنك أن تعطي تفسيراً لشيء دون أن تدعمه بقانون أيضاً.

قلنا له: «إننا لا نعرف ما تعنيه بالانتلخيا التي تقول بها، انك تقول انها ليست قوة فيزيائية. ما عساها أن تكون اذن؟».

ويمكنني أن أجيب نيابة عنه لتفسير كلماته: «حسناً. لا ينبغي عليك أن تكون ضيق الفهم هكذا. عندما تسأل عالماً فيزيائياً عن سبب تحرك هذا المسمار فجأة تجاه قضيب من الحديد. سيخبرك بأن قضيب الحديد ممغنط، وأن المسمار انجذب اليه بفعل المغناطيسية. لم يتسن لأحد أن يرى على الاطلاق المغناطيسية، وإنما كل ما تراه إنما هو حركة مسمار صغير تجاه قضيب من الحديد».

ويمكننا أن نوافق على ذلك بقولنا: «أجل، أنك على حق. لم يتسن لأحد أن يرى المغناطيسية».

ويستطرد قائلاً: «وهكذا ترى أن الفيزيائي يدخل قوى لا يمكن أن يلاحظها أحداً - مثل القوى المغناطيسية والكهربية - حتى يمكنه أن يقدم تفسيراً لظواهر معينة. أريد أن أفعل نفس الشيء. لا يمكن أن تكون القوى الفيزيائية مناسبة لتفسير ظواهر عضوية معينة. لذلك نفترض قوى اخرى شبيهة لها، ولكنها ليست فيزيائية، لأنها لا تسلك نفس الطريق الذي تسلكه القوى الفيزيائية، لا يمكن مثلاً تعيين مكانها أو موضعها، على الرغم من أنها تتصرف طبقاً لنظام فيزيائي، ولكن هذا النظام لابد أن يكون كاملاً، فلا ينطبق على جزء بعينه دون آخر. لذلك لا يمكنك أن تحدد موضعها، إذ ليس لها موضع، فهي ليست قوة فيزيائية. لذلك من المشروع تماماً بالنسبة لي أن أدخل مثل هذه القوة مثلما يدخل الفيزيائي القوة المغناطيسية غير المرئية».

ويمكن أن يكون ردنا على ذلك أن الفيزيائي لا يقدم تفسيراً لحركة المسمار تجاه القضيب عن طريق ادخال كلمة «المغناطيس» ببساطة. ولكن إذا سألته لماذا يتحرك المسمار، لاجابك بسبب المغناطيس، وإذا ضغطت عليه اكثر من اجل أن يقدم لك تفسيراً أكمل لقدم لك قوانين.

ربما لا تكون مصاغة بطريقة كمية مثل معادلات ماكسويل التي تصف المجالات المغناطيسية. وربما تكون قوانين كمية ولكنها بسيطة ليس فيها اعداد حادثة. يمكن للفيزيائي أن يعلن: «تنجذب جميع المسامير المصنوعة من الحديد إلى حوافي القضبان الممغنطة»، ومن الممكن أن يقدم تفسيراً لحالة الممغنطة باعطاء قوانين غير كمية أخرى، فيخبرك أن معدن الحديد الخام من مدينة مغنيسيا (أذكرك بأن الكلمة «مغناطيس» مشتقة من اسم المدينة اليونانية مغنيسيا، التي وجدوا فيها هذا النوع من الحديد الخام لأول مرة) وأن له هذه الخاصية. كما يمكنه أن يقدم لك تفسيراً آخر مثل أن قضبان الحديد تصبح ممغنطة إذا طرقت بمواد خام ممغنطة طبيعياً، وبطريقة معينة. أو يطلعك على قوانين أخرى حول الشروط الواجب توافرها لكي تصبح عناصر معينة ممغنطة، أو قوانين اخرى حول ظواهر مرتبطة بالمغناطيس. يمكنه أيضاً أن يخبرك أنك اذا قمت بمغنطة ابرة وعلقتها من منتصفها، بحيث تجعل طرفيها حرتين الحركة، فإن طرفا منها سيتجه الى الشمال. وإذا أحضرت ابرة أخرى ممغنطة، ووضعت الطرفين معاً جهة الشمال، فلابد أن تلاحظ أنهما لا ينجذبان أبداً، وسينفر كل منهما من الآخر. ويمكنه أن يشرح لك انك إذا سخنت قضيباً من الحديد الممغنط أو طرقته، فسوف يفقد القوة المغناطيسية. كل هذه القوانين إنما هي قوانين كمية، يمكن التعبير عنها بالصورة المنطقية «إذا. . . اذن. . .». والنقطة التي أريد التركيز عليها هنا، هي: لا يكفي، بالنسبة لأغراض التفسير، أن نقوم بإدخال عامل جديد، ونكتفي بأن نطلق عليه اسماً جديداً. وإنما لابد أيضاً أن نضع قوانين.

لم يذكر دريتش أي قوانين، ولم يحدد كيف تختلف انتلخيا شجرة بلوط مثلاً عن انتلخيا ماعز أو زرافة. لم يقم بعمل تصنيف لانتلخياته. قام بتصنيف الكائنات العضوية فقط، وقال لكل كائن عضوي الانتلخيا الخاصة به. لم يضع لنا قوانين تبين لنا تحت أي الشروط يمكن للانتلخيا أن تقوى أو تضعف. قام بالطبع بوصف جميع أنواع الظواهر العضـوية، وأعطى لها أحكاماً عامة. قرر أنك إذا بترت طرف من قنفذ البحر بطريقة معينة، لما ظل الكائن حياً، وانك إذا بترته بطريقة أخرى لظل الكائن حياً، وأن الطرف المبتور سيعود الى النمو مرة أخرى. فعليك أن تتوقف عن بتره بالطريقة الأولى، وستجد عند مرحلة معينة من نمو قنفذ البحر، تولد طرف جديد وكامل. هذه القضايا كلها قوانين خاصة بعلم الحيوان وتستحق منا كل التقدير.

ولكن السؤال الآن الموجه إلى دريتش هو: «ما الذي أضفته إلى هذه القوانين الامبيريقية؟ انك بعد أن ذكرت هذه القوانين، تقدمت لتزف الينا خبر أن كل الظواهر التي تغطيها هذه القوانين، إنما هي بسبب انتلخيا قنفذ البحر». الحقيقة أننا اعتقدنا أنه لم يضف أي شيء، لأن فكرة الانتلخيا لم تقدم لنا قوانين جديدة وإنما كل ما فعلته أنها قامت بتفسير قوانين عامة موجودة

بالفعل، فهي لم تساعدنا على الأقل في عمل تنبؤات جديدة. لهذه الأسباب لا يمكننا أن نقول ان معرفتنا العلمية قد ازدادت. يبدو من الوهلة الأولى أن مفهوم الانتلخيا يزودنا بشيء ما من أجل تفسيراتنا، ولكن عندما نفحصه بعمق اكثر، نكتشف فراغه. انه تفسير كاذب.

يمكن أن يقال ان مفهوم الانتلخيا ليس عديم النفع تماماً، إذ أعطى علماء الأحياء توجيهاً جديداً، منهجاً جديداً لتنظيم القوانين البيولوجية. وردنا على ذلك هو أنه من الممكن أن يكون مفيداً حقاً، إذا امكننا أن نصوغ عن طريقه قوانين عامة، اكثر مما هو مصاغ من قبل. في الفيزياء مثلاً، لعب مفهوم الطاقة دوراً شبيهاً صاغ فيزيائيو القرن التاسع عشر نظرية، مفادها، أنه ربما تكون هناك ظواهر معينة مثل الطاقة الحركية أو طاقة الجهد في الميكانيكا، تقوم بتسخين طاقة المجالات المغناطيسية (كان هذا قبل اكتشاف أن الحرارة تتولد من الطاقة الحركية للجزئيات) وهكذا أمكن لمظاهر متعددة من الحرارة أن تكون نتيجة لنوع واحد أساسي من الطاقة. أدى هذا إلى إجراء تجارب أظهرت أن الشكل الميكانيكي يمكن أن يتحول إلى حرارة، والحرارة تتحول إلى شغل ميكانيكي، ولكن تظل كمية الطاقة ثابتة. وهكذا كان مفهوم الطاقة مثمراً لأنه أدى إلى قوانين أكثر عمومية، مثل قانون حفظ الطاقة. ولكن انتلخيا دريتش لم تكن مفهوماً مثمراً بهذا المعنى، لأنها لم تؤد إلى اكتشاف قوانين بيولوجية اكثر عمومية.

ويمدّنا العلم أيضاً، بالإضافة إلى القيام بتفسيرات للحقائق التي يمكن ملاحظتها، بوسائل تمكننا من التنبؤ بحقائق جديدة لم تلحظ بعد. ونتبع هنا نفس النسق المنطقي الذي اتبعناه في التفسير تماماً، وهو ما يمكن التعبير عنه رمزياً، كما سبق القول:

١ - (و) (ق و ⊂ ك و)

٢ - ق أ .

٣ - ك أ .

أولاً، لدينا هنا قانون كلي: بالنسبة لأي موضوع و إذا كانت له الخاصية ق، إذن لكانت له أيضاً الخاصية ك. ثانياً، لدينا عبارة تفيد أن الموضوع أ له الخاصية ق. ثالثاً: نستنبط بمساعدة المبادىء المنطقية الأولية أن للموضوع أ الخاصية ك.

يعتمد التفسير والتنبؤ على هذا النسق. تختلف معرفة الحالة فقط، ففي التفسير تكون الواقعة ك أ معروفة بالفعل. نفسر ك أ ببيان كيف تستنبط من القضيتين ١، ٢. أما في التنبؤ فالواقعة هـ أ لم تعرف بعد، ولأن لدينا قانوناً، ولدينا الواقعة ق أ، نستنتج من ذلك أنه لابد أن تكون ك أ واقعة أيضاً، حتى إذا لم تكن قد خضعت للملاحظة بعد. أعرف مثلاً قانون التمدد

الحراري، وأعرف أيضاً أنني سخنت قضيباً معيناً. بتطبيق قواعد المنطق بالطريقة المبينة في النسق، استدل على إنني إذا قمت بقياس القضيب الآن، سوف أجد أنه أطول من ذي قبل .

في معظم الحالات، تكون الواقعة خاصة بحادث مستقبلي بالفعل (فقد يتنبأ عالم فلك مثلاً بموعد الكسوف الثاني للشمس). إنني استخدم المصطلح «تنبؤ» هنا، للإشارة إلى المعنى الثاني من القوانين.وهي ليست في حاجة إلى التنبؤ بها بالمعنى الحرفي. في العديد من الحالات تتزامن الحقيقة المجهولة مع الحقيقة المعلومة، كما هو الحال في مثال القضيب الساخن. يحدث امتداد الحديد في آن واحد مع عملية التسخين. ولكن ملاحظتنا للامتداد هي التي تحدث بعد ملاحظتنا للتسخين .

وفي حالات أخرى، يمكن للحقيقة المجهولة أن تكون في الماضي. فالمؤرخ يستدل على حقائق مجهولة معينة للتاريخ، على أساس القوانين السيكولوجية، مع حقائق معينة مشتقة من وثائقه التاريخية. ومن الممكن للفلكي أن يستدل على أن خسوفاً للقمر كان قد حدث في تاريخ معين في الماضي. ويستدل الجيولوجي من وجود خطوط على صخرة كبيرة ومستديرة بفعل الجليد، أنه في زمن ما في الماضي كان هذا الأقليم مغطى بالجليد. انني أستخدم المصطلح «تنبؤ» لكل هذه الأمثلة، لأنه في كل حالة من هذه الحالات نحصل على نفس النسق المنطقي ونفس الموقف المعرفي ـ حقيقة معلومة، وقانون معلوم نشتق منهما حقيقة مجهولة .

في حالات عديدة، ربما يكون القانون المستخدم احصائياً اكثر من كونه كلياً. ومن ثم يصبح التنبؤ محتملاً فقط. يتعامل عالم الأرصاد الجوية مثلاً، مع خليط من القوانين الفيزيائية المضبوطة، والقوانين الاحصائية المختلفة. لا يمكنه ان يعلن انها ستمطر غداً، وانما يمكنه فقط أن يقول ان المطر محتمل جداً .

يعد هذا اللاتعيين ايضاً سمة للتنبؤ بالسلوك الإنساني. فعلى أساس معرفة قوانين سيكولوجية معينة، ذات طبيعة إحصائية، ووقائع معينة عن شخص، نستطيع أن نتنبأ بدرجات متفاوتة من الإحتمال كيف سيتصرف. ربما نسأل عالم نفس أن يطلعنا على أثر حادث معين في طفلنا. ويجيب: «طبقاً لما أراه، من المحتمل أن يكون رد فعل طفلكم على هذا النحو. قوانين علم النفس ليست دقيقة جداً بالطبع، فهي علم حديث. وإلى الآن لا زلنا نعلم القليل جداً من قوانينها. ولكن على أساس ما هو معلوم، أعتقد أنه من الملائم أن تشرعوا في. . .»، وهكذا يمدنا بنصيحة قائمة على أفضل تنبؤ يمكن أن يتوقعه، من خلال القوانين الاحتمالية، عن السلوك المستقبلي لطفلنا.

وإذا كان القانون كلياً، فإن المنطق الاستنباطي الأولي يدخل في عملية الاستدلال على الحقائق المجهولة. اما اذا كان القانون احصائياً، فعلينا أن نستخدم منطقاً مختلفاً، هو منطق الاحتمال. اليك مثالاً بسيطاً. يذكر قانون أن ٩٠ في المائة من ساكني إقليم معين شعرهم أسود. أعرف أن فرداً، يسكن هذا الأقليم، لكنني لا أعرف لون شعره، يمكنني مع ذلك أن أستدل على أساس قانون أحصائي أنه من المحتمل أن يكون شعره أسـود بنسبة ٩/١٠ .

التنبؤ ضروري بطبيعة الحال في الحياة اليومية، وفي العلم. حتى ان معظم الأفعال التافهة التي تقوم بها أثناء اليوم تقوم على تنبؤات. تدير أكرة الباب. تفعل ذلك لأن ملاحظات الحقائق الماضية، بالاضافة إلى القوانين الكلية، تؤدي بك إلى أن تعتقد أن ادارة الأكرة ستفتح الباب. ربما لا تعي الأساس المنطقي المنطوي عليه هذا الفعل ـ انك بلا شك تفكر في أشياء أخرى ـ ولكن كل هذه الأفعال القصدية تفترض سلفاً هذا الأساس. هناك معرفة بحقائق خصوصية، معرفة بانتظامات معينة يمكن التعبير عنها باعتبارها قوانين كلية أو احصائية وتعطي قاعدة للتنبؤ بحقائق مجهولة. يدخل التنبؤ في كل فعل من السلوك الانساني الذي يتضمن اختياراً قصدياً. بدونه يصبح كل من العلم والحياة اليومية ضرباً من المستحيل .

الفصل الثاني

الاستقراء والاحتمال الاحصائي

افترضنا في الفصل الأول، أن قوانين العلم مفيدة. ورأينا كيف تستخدم هذه القوانين في كل من العلم والحياة اليومية باعتبارها تفسيراً لوقائع معلومة وباعتبارها وسائل للتنبؤ بوقائع مجهولة. دعنا نسأل الآن، كيف نتوصل إلى مثل هذه القوانين، وعلى أي أساس نبرر اعتقادنا بأن قانوناً ما ينعقد؟ نعرف بالطبع أن كل القوانين تعتمد على ملاحظة انتظامات معينة. فهي التي تنظم المعرفة غير المباشرة، كمقابل للمعرفة المباشرة بالوقائع. فما الذي يبرر لنا الانتقال من ملاحظة الوقائع المباشرة إلى وضع قانون يعبر عن انتظامات معينة في الطبيعة؟ يسمى هذا في علم المصطلحات العلمية التقليدية بـ«مشكلة الاستقراء».

غالبا ما يتناقض الاستقراء مع الاستنباط، بقولنا ان الاستنباط ينتقل من العام إلى الخاص أو الفردي، بينما ينتقل الاستقراء بالطريق الآخر، من الفردي إلى العام. هذا تبسيط مضلل، ففي الاستنباط توجد انواع من الاستدلالات ننتقل فيها من العام إلى الخاص، كما يوجد في الاستقراء أيضاً أنواع متعددة من الاستدلالات. كما أن التمييز التقليدي مضلل أيضاً، لأنه يفترض ببساطة أن الاستنباط والاستقراء فرعان لنوع واحد من المنطق. يحتوي مؤلف جون ستيوارت مل John stewart Mill نسق المنطق A System Of Logic على وصف مسهب لما يُسمّى «المنطق الاستقرائي»، ويذكر قواعد عديدة لاجراء الاستقراء. ونتجنب اليوم بشكل متزايد استخدام المصطلح «الاستدلال الاستقرائي» هذا اذا كنا نستخدمه على الاطلاق. ولكن علينا أن نتحقق من أنه يستدل على نوع من الاستدلالات، تختلف بشكل أساسي عن الاستنباط.

ففي المنطق الاستنباطي، ينتقل الاستدلال من مجموعة من المقدمات إلى نتيجة لا تختلف أبداً عن

المقدمات. فإذا كان لديك سبب لصدق المقدمات، فلا بد أن يكون لديك بالتساوي سبب قوي لصدق النتيجة التي تستتبع منطقياً من المقدمات. فإذا كانت المقدمات صادقة، فلا يمكن أن تكون النتيجة كاذبة.

يختلف الموقف تماماً في الاستقراء. فلا يتعين أبداً صدق نتيجة استقرائية. ولا أعني فقط أن النتيجة لا يمكن أن تتعين لأنها تستند إلى مقدمات لا تعرف على وجه التأكيد. فحتى إذا افترضنا أن المقدمات صادقة، وأن الاستدلال انما هو استدلال صحيح، فإن النتيجة مع ذلك يمكن أن تكون كاذبة. وأقصى ما يمكننا قوله هو انه طبقاً للمقدمات المفترضة، تكون النتيجة درجة معينة من الاحتمال. ويعرفنا المنطق الاستقرائي كيف نحسب قيمة هذا الاحتمال.

نعرف أن قضايا الواقعة الجزئية التي نتوصل إليها بالملاحظة لا يمكن أن تتعين أبداً بشكل مطلق، لأننا قد نقع في أخطاء في ملاحظتنا، ولكن، بالنسبة للقوانين يظل اللاتعيين أكبر. ففي قانون عن أحوال العالم، بالنسبة لأي حالة جزئية، في أي مكان وأي زمان، إذا صدق شيء، يصدق الشيء الآخر. ومن الواضح أنه يتناول حالات ممكنة لا نهائية. ربما لا تكون الحالات الفعلية لا نهائية، ولكن هناك حالات ممكنة لا نهائية. يقرر قانون فسيولوجي أنك إذا غمدت خنجراً في قلب أي كائن بشري، فإنه يموت، ولأننا لم نلحظ أبداً أي استثناء في هذا القانون، فإننا نقبله باعتباره كلياً. وصحيح بالطبع، أن عدد الحالات التي لاحظنا فيها خناجر منغرزة في قلوب إنسانية محدودة، ومن الممكن في يوم ما أن تتوقف الإنسانية عن الوجود تماماً، وفي هذه الحالة، يصبح عدد الكائنات الإنسانية سواء في الماضي أو المستقبل محدوداً، الا أننا لا نعرف أن الإنسانية سوف تتوقف عن الوجود، ومن ثم ينبغي أن نقول أن هناك حالات لا نهائية ممكنة، قمنا بتغطيتها جميعاً بواسطة القانون. وإذا كان الأمر كذلك، فليس ثمة عدداً للملاحظات النهائية، مهما كانت كبيرة، يمكن أن تصوغ قانوناً «كلياً» بعينه.

وربما نستمر ونجري ملاحظات أكثر فأكثر، وبشكل معتنى به، وبطريقة علمية على قدر استطاعتنا، لكي نقول في نهاية الأمر، «لقد تم اختبار هذا القانون عدة مرات، ولذلك فإننا نثق في صدقه ثقة كاملة، لأنه قانون وطيد البناء، راسخ الأساس». ومع ذلك، إذا فكرنا في الموضوع بروية، لوجدنا أن أعظم القوانين الفيزيائية رسوخاً، إنما تعتمد فقط على عدد نهائي من الملاحظات. ومن الممكن دائماً أن يؤتى بمثال واحد فقط معاكس تماماً لما لاحظناه، وأنه من المستحيل أن نصل الى العصر الذي يتحقق فيه القانون تحققاً كاملاً. وفي الحقيقة أننا لسنا بصدد الحديث عن «التحقق» «Verification» على الاطلاق - هذا إذا كنا نعني به

تأسيس قاطع للصدق ـ ولكننا نقصد به التأييد Confirmation فقط. ومما يدعو إلى العجب، أنه على الرغم من عدم وجود طريقة نتمكن بها من التحقق من قانون (بالمعنى الدقيق للتحقق)، الا أنه من السهل أن نجد طريقة لتكذيبه، فلسنا في حاجة الا إلى مثال معاكس واحد فقط لنقرر كذبه. وربما تكون معرفة مثال «معاكس» في حد ذاته، عملية غير مؤكدة، أو ربما نرتكب خطأ ما في الملاحظة، أو نكون مخدوعين بطريقة ما. ولكن إذا افترضنا، مع ذلك، أن المثال المعاكس حقيقي، اذن لاستتبع ذلك نفي القانون في الحال. فإذا كان القانون يقرر أن كل موضوع له الخاصية ق، لا بد أن تكون له ايضاً الخاصية ك، ووجدنا أن الموضوع الذي له الخاصية ق، ليست له ايضاً الخاصية ك، اذن لكان ذلك دحض للقانون. إذ ان مليون حالة موجبة لا تكفي للتحقق من قانون، ولكن حالة واحدة مخالفة كافية لتكذيبه. ويبدو أن هذا الموقف غير متماثل بشكل قوي، لأن من السهل أن ندحض قانوناً، ومن الصعوبة بمكان أن نجد تأييداً قوياً له.

اذن كيف نعثر على تأييد قوي لقانون؟ اننا إذا لاحظنا عدداً ضخماً من الحالات الموجبة، بدون أية حالة سالبة، قلنا ان التأييد قوي. ولكن مدى قوته، ومدى التعبير عن هذه القوة عددياً، لا زالت مسألة جدال في فلسفة العلم. وسوف نعود الى هذه النقطة بعد قليل. ولكننا نهتم هنا فقط بتوضيح أن مهمتنا الأولى انما تنحصر في البحث عن تأييد لقانون، خضعت الحالات فيه للاختبار لتحديد ما إذا كانت هذه الحالات موجبة ام سالبة. ويتم هذه عن طريق استخدام نسق منطقي لأجراء تنبؤات. يذكر القانون أن (و) (ق و ⊃ ك و)، ومن ثم، بالنسبة لأي موضوع معطى فإن ق أ ⊃ ك أ. ونحاول العثور على موضوعات متعددة على قدر استطاعتنا (وهي تلك الحالات التي رمزنا لها بالرمز أ)، بحيث تكون لها الخاصية ق، وحينئذ نلاحظ ما إذا كانت تحقق ايضاً شرط ك. فإذا وجدنا حالة سالبة، فإن المسألة تكون مقررة، والا كانت كل حالة موجبة بينة اضافية، تضاف إلى قوة تأييدنا.

وهناك بالطبع، قواعد منهجية متعددة لكفاية الاختبار. اذ ينبغي مثلاً أن تكون الحالات متنوعة بقدر المستطاع. فإذا كنت تختبر قانوناً في التمدد الحراري ينبغي أن تحصر اختباراتك في العناصر الجامدة. وإذا كنت تختبر قانوناً يقرر أن جميع المعادن موصلة جيدة للحرارة، فلا ينبغي أن تحصر اختباراتك على عينات من النحاس فقط، بل ينبغي أن تجري اختبارات على أكبر عدد ممكن من المعادن، تحت شروط متغيرة ـ ساخنة، باردة، وهكذا. ولن نتناول القواعد المنهجية المتعددة اللازمة للاختبار، ولكننا سوف نشير فقط إلى الحالات التي يختبرها القانون، وذلك عن طريق اجراء تنبؤات، وحينئذ نرى ما إذا كانت هذه التنبؤات قد تحققت ام لا. في بعض

الحالات تجود علينا الطبيعة بالموضوعات التي نرغب في اختبارها. وفي حالات أخرى، ينبغي علينا استحضارها. ففي اختبارنا لقانون التمدد الحراري مثلاً، لا نبحث عن الموضوعات الساخنة في الطبيعة، وانما نستحضر هذه الموضوعات ونقوم بتسخينها. على أنه لا بد أن نضع في اعتبارنا أن استحضارنا لظروف التجريب، تؤدي بنا إلى فوائد جمة، إذ انها تتيح لنا أن نطبق عليها بسهولة قاعدة الاختلاف في الوقوع المنهجية، ولكن في حالة استحضارنا لظروف التجريب، أو حالة وجودها جاهزة في الطبيعة، فلا بد أن نطبق عليها نفس المنهج.

ولقد أثرت منذ لحظة مسألة ما إذا كانت درجة تأييد القانون (أو التقرير الفردي الذي نتنبأ به عن طريق القانون) يمكن التعبير عنه في صورة عددية. وبدلاً من القول ان هذا القانون «مؤسس جيداً»، وان ذاك القانون الآخر «يستند إلى شواهد واهية»، علينا أن نقول ان القانون الأول حاصل على ٨ درجات تأييد، بينما القانون الثاني حاصل على درجتين فقط. هذه المسألة خضعت لجدال مطول، ولكن وجهة نظري الشخصية هي أن هذا الاجراء مشروع، وأن ما نطلق عليه اسم «درجة التأييد»، إنما هو نفسه الاحتمال المنطقي.

وهذا لا يعني الشيء الكثير، حتى نتعرف على ما نعنيه بعبارة «الاحتمال المنطقي». ولماذا أضفت الصفة «منطقي»، على الرغم من أنها عادة غير مألوفة، إذ ان معظم المؤلفات التي تتناول موضوع الاحتمال لا تضع تمييزاً بين مختلف أنواع الاحتمال، ولكنني أخص نوعاً ما منها وأطلق عليه اسم «منطقي». هذا اعتقادي، ومع ذلك، هناك نوعان مختلفان بشكل أساسي للاحتمال، وانني أميز بينهما بأن أطلق على أحدهما اسم «الاحتمال الاحصائي» والآخر «الاحتمال المنطقي». ولسوء الحظ فإن نفس الكلمة «احتمال»، قد استخدمت بمعنيين مختلفين أشد الاختلاف. غير أن عدم وجود مثل هذا التمييز يعد مصدراً لاضطراب شديد في المؤلفات التي تتناول فلسفة العلم، كما هو الحال تماماً في مناقشات العلماء أنفسهم.

وبدلاً من «الاحتمال المنطقي»، فإنني استخدم احياناً مصطلح «الاحتمال الاستقرائي»، لأن هذا النوع من الاحتمال، في تصوري، هو ما نعنيه عندما نجري استدلالاً استقرائياً. لأنني أعني «بالاستدلال الاستقرائي» ليس فقط الاستدلال الذي ينتقل من الوقائع إلى القوانين، وإنما أيضاً الاستدلال «غير البرهاني»، وهو ذلك الاستدلال الذي عندما نسلم فيه بصدق مقدماته، فلا يستتبع أن تكون نتيجته صادقة طبقاً لضرورة منطقية. فمثل هذه الاستدلالات، يتم التعبير عنها طبقاً لدرجات، وهي التي اطلق عليها اسم «الاحتمال المنطقي» أو «الاحتمال الاستقرائي». ولكي يتبين لنا بوضوح التمييز بين هذا النموذج من الاحتمال، والاحتمال الاحصائي، يبدو من

المفيد ان نلقي ضوءاً سريعاً على تاريخ نظرية الاحتمال .

ظهرت أول نظرية في الاحتمال ـ وتسمى الآن عادة بـ«النظرية الكلاسيكية» ـ خلال القرن الثامن عشر. وكـان جـاكوب بيرنوي Jacob Bernoulli (١٦٥٤ـ ١٧٠٥) أول من كتب مقالة منهجية فيها، وعاونه في هذا معاونة جادة الأسقف توماس بيز Reverend Thomas Bayes وفي نهاية ذلك القرن كتب الرياضي والفيزيائي العظيم بيير سيمون دي لابلاس Pierre Simon De Laplace أول مقالة ضخمة في الموضوع، وكانت عملاً رياضياً شاملاً لنظرية الاحتمال، ويلاحظ أنها كانت ذروة المرحلة الكلاسيكية .

وكانت معظم تطبيقات الاحتمال خلال هذه الفترة الكلاسيكية تتم على ألعاب الحظ ، مثل لعبة الزهر، والكروت، والروليت. وفي الواقع، استمدت النظرية أصولها من حقيقة أن بعض المقامرين، في هذا الوقت، قد سألوا بيير فيرما Pierre Fermat ورياضيين آخرين أن يحسبوا لهم الاحتمالات الـدقيقة التي تتضمنها ألعـاب معينة من ألعـاب الحظ. وهكذا بـدأت النظرية من مشـكلات عينية، ولم تبدأ من نظـرية رياضية عامـة. ولقد وجـد الرياضيـون أن من الغريب حقاً الإجابـة عن مثل هذه التساؤلات. إذ ان هـذا النوع من الرياضيات لم يكن منتشراً حتى يتسنى تغطيـة مثل هـذه الإجابـات. وكنتيجـة لذلك قامـوا بتطويـر التضمينـات التي تمكنـوا حينئذ من تطبيقـها على مشكلات الصدفة .

فماذا فعل هؤلاء الرجال الذين قاموا بتطوير النظرية الكلاسيكية للاحتمال؟ انهم في الحقيقة قد اقترحوا تعريفاً لا يزال موجوداً في مؤلفات الاحتمال الأولية، وهو: ان الاحتمال نسبة من عدد الحالات الملائمة، الى كل الحالات الممكنة، فما معنى هذا؟ نوضح معناه بمثال بسيط. إذا قال شخص ما: «انني سوف ألقي بهذا الزهر. فما هي فرصة ظهور العدد واحد او العدد أثنين؟» فإنه طبقاً للنظرية الكلاسيكية، تكون الإجابة على النحو التالي: ان هناك حالتين «ملائمتان» من مجموع شروط الحالات المتعينة في المسألة. فإذا كانت جملة الحالات الممكنة لسقوط الزهر تساوي ستة، فإن معدل الحالات الملائمة إلى الحالات الممكنة بنسبة ٢ : ٦ أو١ : ٣. ومن ثم تكون إجابتنا على السؤال هي، ان احتمال ظهور العدد واحد أو أثنين يساوي ١/٣ .

ويبدو أن هذا كلّه، واضح تماماً، بل شديد الوضوح. ولكن هناك، مع ذلك، عقدة خطيرة في النظرية. إن الباحثين الكلاسيكيين قالوا ان الفرد قبل أن يتمكن من تطبيق تعريفهم، لا بد أن يكون متأكداً تماماً من أن كل الحالات المشتركة إنما هي «محتملة بالتساوي». وإذا كان الأمر

كذلك، نكون قد وقعنا في دائرة عميقة. لأننا نحاول تعريف معنى الاحتمال، وفي نفس الوقت نستخدم مفهوم «المحتمل بالتساوي»، «Equally Probable».وتجدر الاشارة إلى أن رواد النظرية الكلاسيكية لم يستخدموا هذه المصطلحات بمثل هذه الدقة. فقد قالوا ان الحالات يجب أن تكون «متساوية الامكان» «Equipossible».ويرجع هذا التعريف إلى المبدأ المشهور الذي اطلقوا عليه اسم «مبدأ السبب غير الكافي»، في حين نطلق عليه اليوم «مبدأ عدم التمايز The Principle Of Indifference» وهو ذلك المبدأ الذي يقرر أنك إذا كنت لا تعرف أي سبب لحدوث حالة ما، أكثر من حدوث أخرى، اذن لكانت الحالات متساوية الامكان.

وبهذه الوسيلة ـ التي عرضنا لها بإيجاز ـ تم تعريف الاحتمال في المرحلة الكلاسيكية. وبناء عليه تم بناء نظرية رياضية شاملة في العصر الكلاسيكي. ولكن المسألة الوحيدة التي تهمنا هنا هي ما إذا كان أساس هذه النظرية ـ التعريف الكلاسيكي للاحتمال ـ مناسباً للعلم.

الحقيقة أنه في غضون القرن التاسع عشر، علت أصوات قليلة تنتقد التعريف الكلاسيكي. ولكن في القرن العشرين، وحوالي عام ١٩٢٠، وجه كل من ريتشارد فون ميزس Richard Von Mises وهانز ريشنباخ Hans Reichenbach، انتقادات عنيفة للأطروحة الكلاسيكية. فقد قال ميزس ان «تساوي الامكان» لا يمكن فهمه الا بمعنى «تساوي الاحتمال»، فإذا كان هذا هو معناه، نكون قد وقعنا حقاً في دائرة فاسدة. ويؤكد ميزس على أن الكلاسيكية التقليدية انما توقعنا في الدور، ولذلك فهي لا يمكن أن تفيد.

ولا يزال لميزس اعتراض آخر. فهو يذهب إلى أننا إذا قبلنا ذلك في حالات بسيطة معينة، فهل يمكننا في هذه الحالة أن نركن إلى الحس المشترك Commonsense ليخبرنا أن الحوادث المعنية هذه، متساوية الامكان؟ الحقيقة أننا عندما نرمي بعملة، فإن نتيجة ظهور أحد الوجهين تكون متساوية، لأننا نعرف أنه ليس ثمة ميل لظهور وجه دون ظهور آخر. وبالمثل في لعبة لعب الورق، فإذا كان لورق اللعب نفس الحجم والشكل، وظهر كل منه متماثلاً مع الآخر، وتم خلطه جيداً (تفنيطه)، اذن لكان احتمال توزيع ورقة منها على لاعب، متساو تماماً مع لاعب آخر. ومرة أخرى، شروط تساوي الاحتمال هنا متحققة. ولكن ـ ولا يزال الكلام لميزس ـ لم يوضح لنا أحد من المؤلفين الكلاسيكين، كيف يمكن لنا أن نطبق تعريف الاحتمال هذا على مواقف أخرى متعدّدة. فإذا أخذنا بعين الاعتبار جداول الوفيات، نجد أن شركات التأمين تعرف نسبة احتمال أن يعيش رجل في الأربعين من عمره في الولايات المتحدة، وليس مصاباً بأمراض خطيرة، أنه سوف يعيش في نفس هذا التاريخ من العام التالي. ينبغي عليهم أن يكونوا قادرين

على حساب احتمالات هذا النوع، لأنهم بهذا يكونون قادرين على وضع القاعدة التي تقرر الشركة على أساسها فئاتها .

سأل ميزس: ما هي الحالات المتساوية الامكان بالنسبة الى هذا الرجل؟ ويضرب المثال التالي: يطلب السيد سميث Smith تأميناً للحياة، ترسله الشركة إلى الطبيب، يقرر الطبيب ان سميث خال من الأمراض الخطيرة، وتبين شهادة ميلاده أن عمره أربعون عاماً. ترجع الشركة إلى احصائيات وفياتها. وعلى أساس احتمال حياة الرجل المتوقعة، تقدم له شهادة تأمين من فئة معينة، ويمكن للسيد سميث أن يتوفى قبل أن يناهز عمره الواحد والأربعين، كما يمكنه أن يعيش ليصبح في عمر المائة. احتمال الحياة بالنسبة له سنة أخرى زيادة، يقل شيئاً فشيئاً، لأنه يكبر في العمر. افترض أنه يتوفى في عمر الخامسة والأربعين، هذا شيء سيء بالنسبة إلى شركة التأمين، لأنه دفع اقساطاً قليلة، والآن سيدفعون ٢٠ ألف دولار للمنتفعين من تأمينه. أين الحالات المتساوية الامكان هنا؟ فالسيد سميث يمكن أن يتوفى في عمر الاربعين والواحد والأربعين، والإثنين والأربعين . . . وهكذا. هذه حسابات ممكنة، ولكنها ليست متساوية الامكان، لأن وفاته في سن المائة والعشرين بعيد الاحتمال إلى حد بعيد .

وأشار ميزس الى مواقف مماثلة تتعلق بتطبيق الاحتمال على العلوم الاجتماعية، أو التنبؤ بالطقس، أو حتى في الفيزياء. فمثل هذه الحالات لا تشبه ألعاب الصدفة التي تكون النتيجة فيها ممكنة، ويمكن تصنيفها بدقة إلى ن من الحالات المتبادلة والكاملة تماماً، بحيث تحقق شرط تساوي الامكان. أما إذا كان الأمر متعلقاً بجسم صغير من عنصر مشع، فهو اما أن يصدر في اللحظة التالية جسيم الألفا، أو لا يصدر. يذكر الاحتمال ان الجسيم يصدر في ٣٧٤ حالة. اذن أين الحالات المتساوية الامكان هنا؟ لا يوجد شيء من هذا. إذ لا يوجد لدينا سوى حالتين فقط اما أن يصدر جسيم الألفا في اللحظة التالية أو لا يصدر. كان هذا هو انتقاد ميزس الرئيسي للنظرية الكلاسيكية .

وعلى الجانب الآخر، أكّد كل من ميزس ورايشنباخ أن ما نعنيه حقاً بالإحتمال ليس هو عدد الحالات، وإنما هو قياس لعلاقة تكرارية نسبية. أما العلاقة «التكرارية المطلقة» فإننا نعني بها العدد الكلي للموضوعات أو الحدوث، مثل عدد الناس الذين توفوا في لوس أنجيلوس العام الماضي من مرض التدّرن. ولكننا نعني «بالتكرار النسبي »، نسبة هذا العدّد إلى فئة أوسع قمنا بفحصها، وهي العدّد الكلّي لسكان لوس انجيلوس. قال ميزس مثلاً، أنه يمكننا الكلام عن ظهور وجه معين من رمية زهر، ليس فقط في حالة زهر جيد، حيث تكون النسبة ١ / ٦، وإنما أيضاً في حالات كلّ نماذج

الزهر. إفترض أن شخصاً ما يؤكد أن نسبة إحتمال ظهور الواحد في الزهر الذي يحمله ليس ١ / ٦ لكنه أقلّ من ١ / ٦. ويقول شخص آخر أعتقد أن إحتمال ظهور الواحد أكثر من ١ / ٦. أشار ميزس إلى أنه لكي نعلم أن الرجلين معتدلان في تأكيداتهما المتباينة، يجب أن ننظر إلى الطريقة التي بها أسّسا حكميهما. ولا يتسنى ذلك إلاّ بإجراء إختبار إمبيريقي. سوف يلقيان بزهرة النردّ عدداً من المرات، ويسجلان عدد الرميات وعدد الأسات التي تظهر. كم من المرات سيلقيان بالزهر؟ إفترض أنهما ألقيا به ١٠٠ رمية، ووجد أن الآس ظهر ١٥ مرة. وهذا يقل قليلاً عن ١ / ٦ الـ ١٠٠، ألن يثبت هذا أن الرجل الأول على حق؟ «كلا». يمكن أن يعترض الرجل الآخر بقوله «إنني لا زلت على إعتقادي أن الإحتمال أكبر من ١ / ٦. فمائة رمية كافية لاعتماد الإختبار» وربما يستمر الرجل في قذف الزهر حتى يصل عدد الرميات إلى ٦ آلاف رمية، فإذا ظهر الآس أقل من ألف مرة، سيقر الرجل الآخر بقوله، «أنك على حق، انها أقل من ١ / ٦». ولكن لماذا توقف الرجل عن الرقم ٦ آلاف؟ إذا كانت الرميات بعد الـ ٦ آلاف، فإن عدد الآسات يقترب كثيراً من الألف، وعلى هذا الأساس، فإنهما ينظران إلى المسألة باعتبار أنها لم تحل، فإن أيّ إنحراف بسيط يمكن أن يؤدي إلى المصادفة، أكثر مما يحدث في الإنحراف الطبيعي للزهرة نفسها. فعلى المدى الطويل، يمكن أن يؤدّي الرجحان البسيط إلى الانحراف في الإتجاه المضاد. ولاجراء اختبار أكثر احكاماً، فإن الرجلين سيقرران المضي في الرمي إلى ٦٠ ألف رمية. وبوضوح، ليس هناك حد نهائي لعدد الرميات. لأن عدد الرميات مهما كان كبيراً، ففي اللحظة التي يتوقف عندها الرجلان، سوف يؤكّدان بشكل حاسم على أن احتمال ظهور العدد آس هو ١ / ٦ أو أقل من ١ / ٦ أو أكثر من ١ / ٦.

وحيث انه لا يوجد عدد نهائي للأختبارات، يكون كافياً ليضفي نوعاً من الحتم أو التأكيد على الاحتمال، فكيف يمكن إذن أن نعرف الاحتمال طبقاً لحدود تكرارية؟ يؤكد ميزس، ورايشنباخ على أنه يمكن تعريفه، ليس كعلاقة تكرارية في سلسلة نهائية، ولكن كحدّ من علاقة تكرارية في سلسلة لا نهاية لها (وكان هذا التعريف، هو الذي ميّز وجهة نظر كل من ميزس ورايشنباخ من وجهة نظر ر.أ. فيشر R.A. Fisher، في انجلترا، ورجال احصاء آخرين، انتقدوا أيضاً النظرية الكلاسيكية، وأدخلوا المفهوم التكراري للاحتمال ليس عن طريق التعريف، وإنما بإعتباره حداً أوّلياً في نظام بديهي). وبالطبع كان ميزس ورايشنباخ يعلمان جيداً أنه لا يمكن أبداً أن يكون في متناول ملاحظ سلسلة لا نهائية كاملة من الملاحظات المتاحة. ولكنني أعتقد أن انتقاداتهما خاطئة، وذلك عندما قالا إن التعريف الجديد للاحتمال ليست له تطبيقات. ولقد أشار كل من رايشنباخ وميزس إلى أنه يمكن تطوير عدد من المبرهنات على أساس

تعريفهما، وبمساعدة هذه المبرهنات، نستطيع أن نقول شيئاً ما ذات مغزى. ولا نستطيع أن نقول بالتأكيد ما هي قيمة الإحتمال، ولكن إذا كانت السلسلة طويلة بقدرٍ كاف لاستطعنا أن نقول ما هو الإحتمال المرجح. ففي مثال الزهر تستطيع أن تقول إحتمال ظهور الآس أكبر بقليل من ١/٦. وربما يمكن حساب قيمة هذا الاحتمال. فالوقائع التي تحدد المفهوم تستخدم في التعريف، كما أن الاستنتاج يقوم على سلسلة لا نهائية بالتأكيد، ويسبب تعقيدات وصعوبات لكل من المنطقي والذي يقوم بالاختبار العملي. فهما، مع ذلك لا يضعان تعريفاً بلا معنى، كما تؤكد بعض الانتقادات.

ولقد وافق رايشنباخ وميزس على وجهة النظر التي تقول إن مفهوم الإحتمال يقوم على تكرار نسبي في سلسلة لا نهائية، وانه المفهوم الوحيد للاحتمال المقبول في العلم. أما التعريف الكلاسيكي فهو مشتق من مبدأ عدم التمايز، وهو غير مناسب للعلم. وليس ثمة تعريف حديث آخر سوى ذلك التعريف الذي قام بصياغته كل من ميزس ورايشنباخ، ووجد أنه أرقى من التعريف القديم. ولكن برزت مرة أخرى المسألة المزعجة، وأعني بها، الحالات الفردية. لا شك أن التعريف الحديث مناسب جداً للظواهر الاحصائية، ولكن كيف يمكن له أن ينطبق على حالة فردية؟ يعلن عالم الارصاد الجوية أن احتمال سقوط المطر غداً نسبته ٣/٢. «وغداً» هذا يشير إلى يوم بعينه وليس إلى غيره، مثل وفاة شخص مؤمن عليه بتأمين على الحياة، فهو حالة فردية، حدث لا يتكرر، ومع ذلك نريد أن ندخله في الاحتمال. كيف يتسنى لنا فعل ذلك وفقاً للتعريف التكراري؟

قنع ميزس بأن ذلك لا يمكن فعله، واكتفى بأن استبعد الحالات الفردية من القضايا الإحتمالية. أما رايشنباخ فقد كان على بيّنة من أنه ـ في العلم، وفي الحّياة اليومية ـ لا مناص من صياغة قضايا إحتمالية لحالات فردية. ومن ثم، لا بد ـ في رأيه ـ أن نعثر على تفسير مقبول لمثل هذه القضايا. ومن السهل أن نعثر على ضالتنا المنشودة في مجال التنبؤ بالطقس. فإذا أتيح لعالم ارصاد جوية الاطلاع على عدد كبير من التقارير التي تتحدث عن حالة الطقس في الماضي، فإن ذلك يزوده بمعلومات عن حالة الطقس اليوم. ويتبين له أن طقس اليوم ينتمي إلى فئة معينة، وأنه في الماضي، عندما حدث طقس هذه الفئة، فإن التكرار النسبي لسقوط المطر في اليوم التالي كان ٣/٢. ومن ثم نجد أن عالم الأرصاد الجوية ـ طبقاً لريشنباخ ـ يقوم بعمل «ترجيح» «a Posit» وذلك لأنه يفترض أن التكرار الملاحظ لـ ٣/٢، يقوم على سلسلة نهائية من الملاحظات، ولكنها سلسلة طويلة نسبياً، وهي أيضاً حد من سلسلة لا نهائية. وبكلمات

أخرى، نراه يقدر الحد بالمقدار التقريبي ٢/٣. وبالتالي نجده يصوغ القضية: «احتمال سقوط المطر غداً ٢/٣» .

ويؤكد رايشنباخ على أن عبارة عالم الارصاد الجوية موجزة. أما إذا أراد توسيعها لتعطي معنى كاملاً فإنه يقرر: «بناء على ملاحظاتنا الماضية، فإن حالة الطقس اليوم تهيء سقوط المطر في اليوم التالي بنسبة تكرارية تساوي ٢/٣». وتبدو القضية المختزلة كما لو أنها تطبق الاحتمال على حالة فردية، ولكن ذلك يرجع فقط إلى طريقة الحديث. وحقيقة أن العبارة تشير إلى تكرار نسبي في سلسلة طويلة، وأن العبارة، «في الرمية التالية للزهر، فإن احتمال ظهور الآس يساوي ١/٦» صادقة بالمثل. إذ ان «الرمية التالية» مثل «الطقس غداً» كلاهما حادث منفرد، ووحيد. وعندما نعـزو احتمالاً لها، فإننا نتحدث حقيقة بإيجاز عن تكرار نسبي في سلسلة طويلة من الرميات .

وبهذه الطريقة، عثر رايشنباخ على تفسير للقضايا الإحتمالية التي تنسب إلى أحداث فردية. وحاول أيضا أن يعثر على تفسير للقضايا التي تعزو الاحتمال إلى فروض عامة في العلم. غير أننا لن نخوض في هذا الموضوع هنا، لأنه موضوع شديد التعقيد، ولأنه (على العكس من تفسيره للتنبؤات الاحتمالية الفردية) لم يحظى بقبول عام في محاولته هذه .

أما التطور الهام التالي في تاريخ نظرية الاحتمال، فقد كان عن نشأة المفهوم المنطقي، وهو ذلك المفهوم الذي اقترحه الاقتصادي البريطاني الشهير جون مايـنـرد كينز بعد عام ١٩٢٠ . واليوم يثار جدل نشيط بين هؤلاء الذين يؤيدون المفهوم المنطقي، وهؤلاء الذين يفضلون التفسير التكراري. والفصل التالي سوف يعرض لهذا الجدال، والطريقة التي أعتقد أنها تسهم في حل هذه الاشكالية .

الفصل الثالث

الإستقراء والإحتمال المنطقي

كان الاحتمال ـ طبقاً لجونماينرد كينز John Maynard Keynes علاقة منطقية بين قضيتين. ولم يحاول كينز تعريف هذه العلاقة. بل نراه يذهب أبعد من ذلك بقوله انه لا يمكن حتى وضع صياغة لتعريفه. ولكنه يصر على أنه بالحدس وحده يمكننا فهم معنى الاحتمال. وذكر في كتابه «مقال في الاحتمال» «A Treatise On Probability» بديهيات وتعريفات قليلة، مصاغة في قالب منطقي، ولكن ليس لها تأثير قوي على وجهة النظر الحديثة. فبعض مسلمات كينز هي في الواقع تعريفات. وبعض تعريفاته هي في الحقيقة مسلمات. ولكن كتابه مثير من وجهة النظر الفلسفية، وبصفة خاصة في تلك الفصول التي تتناول تاريخ نظرية الإحتمال الذي قد يفيدنا اليوم من وجهات النظر المبكرة للاحتمال. وكان كل تركيزه منصباً على أنه عندما نصوغ قضية احتمالية، فإننا لا نصوغ قضية عن العالم، بل إننا نصوغها فقط عن علاقة منطقية بين قضيتين أخرتين. إننا نقول فقط أن قضية ما لها خاصية الاحتمال المنطقي عن الشيء الفلاني إلى درجة كذا بالنسبة إلى قضية أخرى.

وأنا استخدم العبارة «إلى درجة كذا» قاصداً، لأن كينز كان شديد الحذر، فقد كان يشك بوجه عام ان الاحتمال يمكنه أن يضع تصوراً عددياً، أي تصوراً ذات قيم عددية. وقد وافق بالطبع، على أن ذلك يمكن أن يتحقق في حالات خاصة، مثل رمي زهر، الذي ينطبق عليه مبدأ عدم الاكتراث. فالزهر متناسق الأجزاء، وجوهه متشابهة، وليس هناك ما يدعونا الى الشك في أنه مشحون بشيءٍ ما، وهكذا. وينطبق الشيء نفسه على ألعاب الصدفة الأخرى، التي تنظمُ بعناية لاحداث تماثل فيزيائي، أو على الأقل، تماثل من جهة معارفنا، وجهلنا. فعجلات الروليت مصنوعة بحيث تكون قطاعاتها الدائرية متساوية. فالعجلة موزونة بعناية لتمنع أي انحراف

يمكن أن يسبب توقف الكرة على عدد دون آخر. وإذا ضرب شخص ما عملة معدنية بظفره فلن يكون هناك ما يدعونا الى توقع ظهور وجه دون آخر.

وقال كينز، انه في الحالات المحددة التي من هذا النوع، يحق لنا أن نطبق التعريف الكلاسيكي للاحتمال. واتفق مع نقاد مبدأ عدم التمايز، ذلك المبدأ الذي استخدم بمعنى واسع جداً في الفترة الكلاسيكية، والذي كان من الخطأ تطبيقه على مواقف متعددة، كالتنبؤ بأن الشمس سوف تشرق غداً. ويذهب إلى أن مبدأ عدم التمايز مناسب فقط لألعاب الصدفة وبعض المواقف الأخرى البسيطة التي يمكن أن نعطي لها قيماً احتمالية عددية. أما في معظم الحالات، فليس لدينا الوسيلة التي نصل بها إلى تعريف الحالات المتساوية الامكان، ولذلك فلا مبرر لتطبيق هذا المبدأ. ويقرر كينز أنه لا ينبغي علينا، في مثل هذه الحالات أن نستخدم قيماً عددية. كان موقفه حذراً متشككاً، ولم يرد أن يذهب أبعد من ذلك، ومن ثم نراه لم يتوسع في الجزء العددي من نظريته. وحتى في المواقف المتعددة التي لا نتردد في اعتبارها شكلاً من اشكال الرهان الذي يمكن أن ينتظم قيماً عددية، نجد كينز يحذرنا من هذه التجربة.

والشكل الثاني الهام في نشأة الاحتمال المنطقي الحديث كان على يد هارولد جيفرزHarold Jeffreys الجغرافي الطبيعي الانجليزي. نشرت جامعة اكسفورد عام ١٩٣٩ نظريته في الاحتمال لأول مرة، وفيها يدافع عن تصور قريب جداً من تصور كينز. عندما نشر كينز كتابه (الذي ظهر عام ١٩٢١ ومن المحتمل أن يكون كتبه عام ١٩٢٠) ظهرت أيضاً الطبعات الأولى لنظريات ميزس ورايشنباخ في الاحتمال. ومن الواضح أن كينز لم يطّلع عليها. وعلى الرغم من أنه إنتقد النظرية التكرارية الا أنه لم يناقشها بالتفصيل. وفي هذا الوقت كتب جيفرز كتابه، وهو الوقت الذي بلغ فيه التفسير التكراري أوجه، لذا نجد الكتاب يتناول بالشرح هذه النظرية.

قرر جيفرز بوضوح أن النظرية التكرارية خاطئة بشكل كامل، وأكد وجهة نظر كينز التي يقرر فيها الابتعاد عن النظرية التكرارية والأخذ بالعلاقة المنطقية. وكان بذلك أكثر جرأة من كينز الحذر. اعتقد أن القيم العددية يمكن تحديدها احتمالياً في عدد ضخم من المواقف، وبصفة خاصة في كل المواقف التي يطبقها الاحصاء الرياضي. وأراد أن يتعامل مع نفس المشكلات التي اهتم بها ر. أ. فيشر و غيره من الاحصائيين. ولكنه أراد التعامل معها من منطلق تصور مختلف للاحتمال لأنه استخدم مبدأ عدم التمايز. وإنني أعتقد أن بعضاً من نتائجه فتحت عليه نفس الاعتراضات التي سبق أن واجهت النظرية الكلاسيكية. وعلى أية حال، من الصعوبة أن تجد قضايا معينة في كتابه يمكن أن تتعرض للنقد. فبديهياته موضوعية الواحدة بعد الأخرى، وهي

مقبولة. ولكن عندما يحاول أن يشتق مبرهنات من مسلمة معينة فهو، في رأيي، يضل.

المسلمة التي يذكرها جيفرز على النحو التالي: «نحدد العدد الاكبر في المعطيات المتاحة للقضية التي يكون احتمالها أكبر (ولذلك فالاعداد المساوية للقضايا المحتملة بالمثل». يقرر الجزء داخل الاقواس بوضوح أنه إذا كانت ق، ك متساويتين في درجة الاحتمال طبقاً لقاعدة البينة On The basis of evidence «و»، اذن فالاعداد المتساوية تحدد القيمة الاحتمالية لـ ق، ك على أساس برهان «و»، لا تخبرنا القضية بشيء عن الحالات التي نلاحظ بها ق، ك متساوية في الاحتمال مع و. ولم يذكر جيفرز في أي مكان من كتابه قضية تشير إلى تلك الحالات. وأخيراً، لكي يقيم مبرهنات للقوانين العلمية، نراه يشرح هذه المسلمة بطريقة غاية في العجب. إذ كتب يقول: «إذا لم يكن هناك ما يدعونا إلى الاعتقاد في ظاهرة أكثر من الأخرى، اذن فلابد أن تكون الاحتمالات متساوية». وبكلمات أخرى. إذا لم نحوز على شواهد مرضية لاعتبار نظرية ما صادقة أو كاذبة، اذن علينا أن نحسب احتمال صدق هذه النظرية بنسبة ١/٢.

أيكون هذا استخداماً شرعياً لمبدأ عدم التمايز؟ في رأيي، هذا الاستخدام تم القضاء عليه نهائياً من قبل منتقدي النظرية الكلاسيكية. فإذا كان ولا بد من استخدام مبدأ عدم التمايز، فيجب توافر شيء من التماثل في الموقف، مثل تساوي أوجه الزهر، أو تساوي القطاعات الدائرية لعجلة الروليت، ذلك الأمر الذي يمكننا من القول ان هناك حالات معينة متساوية الاحتمال. وفي غياب مثل هذه التماثلات في الموضوعات الفيزيائية أو المنطقية لموقف ما، فلا يسوغ لنا على الاطلاق أن نفترض احتمالات متساوية، لأننا لا نعرف أي شيء عن العلاقة التقديرية للظواهر المتناظرة.

ونوضح هذا بتوضيح بسيط. طبقاً لتوضيح جيفرز لبديهيته، يمكننا أن نفترض احتمال وجود كائنات حية على كوكب المريخ بنسبة ١/٢، لأننا لا نملك الدليل الكافي على نفي اعتقادنا هذا. وبنفس الطريقة يمكننا ان نفترض وجود الحيوانات بنسبة ١/٢، ووجود كائنات انسانية بنسبة ١/٢ على كوكب المريخ. كل تأكيد، يصدق في حد ذاته، وهو تأكيد على أننا لا نملك الدليل القاطع باتباع أحدهما دون الآخر. لكن هذه التأكيدات يرتبط كل منها بالآخر من جهة عدم إمكان الحصول على نفس القيم الاحتمالية. فالتأكيد الثاني أقوى من الأول لأنه يتضمن الأول، وأن الأول لا يتضمن الثاني، وعليه فإن التأكيد الثاني يكون أقل احتمالاً من الأول. وتنعقد نفس العلاقة بين الثالث والثاني.

ولقد تعرض كتاب جيفرز للانتقاد بعنف من قبل الاحصائيين الرياضيين، وانني أتفق مع

انتقاداتهم في مواضع قليلة نجد فيها جيفرز يطور مبرهنات لا يمكن اشتقاقها من بديهياته. ومن جهة أخرى، يمكنني القول أن كلا من كينز وجيفرز قد مهدأ الطريق الذي أدى في النهاية إلى الاتجاه الصحيح .

ونظريتي في الاحتمال تسير في نفس هذا الإتجاه. فإنني اشاطرهم الرأي في أن الاحتمال المنطقي علاقة منطقية. فإذا كنت تصوغ قضية تقرر أنه بالنسبة لغرض ما، يكون الاحتمال المنطقي فيه ٧، طبقاً لبنية ما، اذن فالقضية الكلية، قضية تحليلية. ومعنى هذا أن القضية تنتج مع تعريف الاحتمال المنطقي «أو من بديهيات نسق منطقي» دون الرجوع لأي شيء خارج النسق المنطقي. وبمعنى آخر، دون الاشارة إلى بناء العالم الخارجي .

وفي تصوري، أن الاحتمال المنطقي هو علاقة منطقية تشبه إلى حد ما علاقة تضمن منطقي. فإذا كانت البينة تشير بقوة إلى أن الفرض نتج منطقياً عنها. فهو متضمن منطقياً فيها ـ إننا في حاجة إلى حالة واحدة قصوى يكون الاحتمال فيها بنسبة واحد (والاحتمال واحد يحدث أيضاً في حالات أخرى، ولكن هذه الحالة خصوصية عارضة). والمثل إذا كان هناك نفي لفرض متضمن منطقياً عن طريق البينة، يكون الاحتمال المنطقي للفرض فيه صفر. ويوجد بينهما استمرارية للحالات بحيث لا يخبرنا المنطق الاستقرائي بأي شيء خلف التأكيد المنفي ،بحيث لا يستنبط الفرض ولا نفيه من البينة. ينبغي أن يضطلع المنطق الاستقرائي بهذه الاستمرارية، ولكن المنطق الاستقرائي مثله في ذلك مثل المنطق الاستنباطي يتعلق فقط بالقضايا المتضمنة، ولا يتعلق بحقائق الطبيعة. فعن طريق التحليل المنطقي لفرض معين «ف»، وبينة معينة «ب»، فإننا نستنتج أن «ف» ليس متضمناً، ولكنه، هكذا تقول، متضمناً جزئياً، وإلى درجة كبيرة في «ب» .

عند هذه النقطة، بررنا، من وجهة نظرنا، تحديد القيمة العددية للإحتمال. وإذا أمكن، فأننا نرغب في بناء نسق للمنطق الاستقرائي يتكون من زوجين من القضايا. تؤكد الأولى البينة ب، وتشير الأخرى للفرض ف، فنتمكن من تحديد عدد للاحتمال المنطقي ف من جهة ب. (إننا لا نفترض الحالة الجزئية التي تكون فيها القضية ف متناقضة. ففي مثل هذه الحالات لا نستطيع تحديد قيمة احتمالية (ف). لقد نجحت في تطوير تعريفات ممكنة لمثل هذه الاحتمالات بالنسبة للغات بسيطة جداً تشتمل على رتبة واحدة فقط من التنبؤات. والعمل يتقدم الآن لتوسيع النظرية بحيث تشمل أكثر اللغات شمولاً. وبالطبع إذا كان المنطق الاستقرائي كله، الذي أحاول تشييده على أساس هذه القاعدة له قيمة حقيقية للعلم، فهو في النهاية سيكون قادراً على

تكوين لغة ذات طابع كمي، كتلك التي نجدها في الفيزياء، والتي هناك لا تكون فيها رتبة واحدة فقط للتنبؤات، وإنما يكون لها مقادير عددية مثل الكتلة، ودرجة الحرارة، وهكذا. أعتقد أن هذا ممكن. وأن المبادىء الاساسية المشتملة عليها هي نفس المبادىء التي ارشدتنا إلى العمل في تشييد المنطق الاستقرائي بالنسبة للغة بسيطة ذات رتبة واحدة للتنبؤات.

وعندما أقول، انني أعتقد أنه من الممكن أن نطبق المنطق الاستقرائي على لغة العلم، فإنني لا أعني بذلك أنه بإمكاننا أن نصوغ مجموعة من القواعد نقررها مرة واحدة وإلى الابد، وأن ذلك سوف يؤدي، بشكل آلي، وفي أي مجال، إلى المضي من الحقائق إلى النظريات. إذ من المشكوك فيه، مثلاً، أن نقوم بصياغة قواعد تمكن العالم الفيزيائي من معاينة مائة ألف قضية تقرر أشياء مختلفة يمكن ملاحظتها، وعندئذ، يتمكن من وضع نظرية عامة (نسق من القوانين) يفسر بها هذه الظواهر الملاحظة، عن طريق التطبيق الآلي لتلك القواعد. هذا مستحيل بالطبع، لأن النظريات وبصفة خاصة الأكثر تجريداً منها والتي تتعامل مع أشياء غير مرصودة مثل الجسيمات أو المجالات الكهرومغناطيسية، تستخدم اطاراً تصورياً يمضي بعيداً وراء الاطار المستخدم لوصف المادة الملاحظة، ولا يستطيع المرء ببساطة أن يتبع اجـراء آلياً معتمداً على قواعد مقررة ليستخرج منها نسقاً جديداً من المفاهيم النظرية، وبمساعدة هذه المفاهيم يتوصل إلى نظرية. ان ذلك يتطلب براعة خلاقة. ويتم التعبير عن هذه النقطة في بعض الأحيان بالقول انه لا يمكن أن يكون هناك استقراء آلي - آلة حاسبة نضع فيها كل القضايا الملاحظة المناسبة، ونحصل، كناتج لذلك، على نسق مرتب من القوانين التي تفسر الظواهر الملاحظة.

اذن فإنني أوافق على وجهة النظر التي تقول انه لا يمكن وجود استقراء آلي وخاصة إذا كان هدف الآلية هو اختراع نظريات جديدة. ولكنني أعتقد، مع ذلك، امكانية وجود مثل هذا الاستقراء الآلي، ولكن بالنسبة لهدف اكثر تواضعاً من ذلك. هناك ملاحظة معينة متاحة ولتكن م، وفرض علمي وليكن ف (وليكن في صورة تنبؤ أو حتى مجموعة من القوانين). اذن، فإنني أعتقد أنه في حالات كثيرة، يمكن أن نحدد، باجراءات آلية (ميكانيكية) الاحتمال المنطقي، أو درجة التأييد لـ ف على أساس م. إنني استخدم أيضاً المصطلح «الاحتمال الاستقرائي» لهذا المفهوم من الاحتمال، لأنني مقتنع أن هذا هو المفهوم الأساسي الذي يشتمل على كل تعليل استقرائي، وأن المهمة الرئيسية للتعليل الاستقرائي إنما هي تقييم هذا الاحتمال.

وإذا ألقينـا بنظرة متفحصة على الموقف الحالي في نظرية الاحتمال، لوجدنا أن هناك خلافاً بين المدافعين عن النظرية التكرارية، والقائلين بأن الاحتمال منطقي مثلي وكينز، وجيفرز. كما أننا

نجد أيضاً خلافاً بين موقفي وموقف كل من كينز وجيفرز. فهما يعترضان تماماً على المفهوم التكراري للاحتمال، ونحن لا نعترض. فأنا اعتبر المفهوم التكراري، ويسمى أيضاً الاحتمال الاحصائي، مفهوماً علمياً جيداً، لأنه يقوم على تعريف بسيط، كما في نسقي ميزس وريشنباخ، أو يقوم على نظام وأحكام بديهية للتطبيقات العملية (بدون وضع تعريف قاطع) كما هو الحال عند الاحصائيين الرياضيين المعاصرين. وألاحظ ـ في كل موقف من هذين الموقفين ـ انه يقدم مفهوماً هاماً للعلم. ففي رأيي أن المفهوم المنطقي للاحتمال، هو مفهوم ثـان، لطبيعة مختلفة تماماً، لكنه، مع ذلك، متسـاوٍ في الأهمية.

فالقضايا التي تعطي قيماً للاحتمال الاحصائي ليست منطقية خالصة، ولكنها قضايا واقعية في لغة العلم. فعندما يقول الطبيب أن احتمال رد الفعل الأيجابي لتأثير حقنة معينة في مريض، «جيد جداً» (أو ربما يذكر قيمة عددية معينة مثل العدد ٧)، فهو يصوغ قضية في العلم الطبي. وعندما يقول عالم أن لظاهرة معينة نشاطاً اشعاعياً بدرجة مرتفعة، فهو يصوغ قضية في الفيزياء. اذن فالاحتمال الاحصائي، احتمال علمي، ومفهوم تجريبي. وقضايا الاحتمال الاحصائي، قضايا «تركيبية»، أي أنها قضايا لا يمكن صياغتها عن طريق المنطق، وإنما تصاغ استناداً الى ابحاث تجريبية. وعند هذه النقطة اتفق مع ميزس ورايشنباخ والاحصائيين الآخرين. إذ أننا عندما نقول: «أن هذا الزهر، عند قذفه، أظهر الآس ١٥٧ مرة بإستخدامنا للاحتمال الاحصائي». فأننا في الحقيقة نقرر ظاهرة علمية، أمكن اختبارها عن طريق سلسلة من الملاحظات. وهي قضية امبيريقية. لأنه يمكن التحقق منها عن طريق بحث امبيريقي فقط.

ومع تطور العلم، تزداد أهمية هذا النوع من القضايا الاحتمالية، ليس فقط بالنسبة الى العلوم الاجتماعية، وإنما أيضاً بالنسبة الى الفيزياء الحديثة. فلم يعد الاحتمال الاحصائي ضرورياً في المجالات التي نجهلها فحسب، (كما هو الحال في العلوم الاجتماعية أو عندما يحسب عالم الفيزياء مساراً جزئياً في سائل)، وإنما يدخل أيضاً باعتباره عاملاً ضرورياً في المبادىء الأساسية لنظرية الكم. وعليه فقد بات من الضروري بالنسبة الى العلم أن يستعين بنظريات الاحتمال. ولقد قام بتطوير هذه النظريات جماعة من الاحصائين، كما عنى بتطويرها أيضاً ـ ولكن بطريقة مختلفة ـ كل من ميزس ورايشنباخ.

ومن ناحية أخرى، نشعر أننا في حاجة أيضاً إلى مفهوم الاحتمال المنطقي، لأنه مفيد، وبصفة خاصة في القضايا ما وراء العلمية metascientific، وهي تلك القضايا التي تدور حول العالم. أبادر عالماً بقولي: «أنك تخبرني أنه يمكنني أن أعتمد على هذا القانون لإجراء تنبؤ معين،

فكيف تأسس هذا القانون بشكل ملائم؟ وكيف أثق في التنبؤ؟ وقد يكون في مقدور عالم اليوم، أو قد لا يكون في مقدوره ان يجيب عن هذا السؤال ما وراء العلمي في حدود كمية. ولكنني أعتقد أن المنطق الاستقرائي قد تقدّم بشكل مرض. ففي مقدوره الإجابة بأن «هذا الفرض فثبت بدرجة «٨» بناءً على قاعدة البيِّنة النافعة «Available evidence». إن العالم الذي يدلي بإجابة بهذه الطريقة إنما هو يقرر قضية بشأن علاقة منطقية بين البينة والفرض العلمي بهذا الخصوص. ونوع الاحتمال الذي استخدمه هنا، إحتمال منطقي، وهو ما أدعوه أيضاً «بدرجة الإثبات»، فقضيته هذه التي يقرر فيها أن قيمة هذا الاحتمال «٨» وفي هذا السياق، ليست قضية تركيبية «إمبيريقية»، وإنما هي قضية تحليلية. وهي تحليلية لأننا لسنا في حاجة إلى بحث امبيريقي. فهي تعبرعن علاقة منطقية بين جملة تذكر البينة، وجملة تذكر الفرض العلمي.

لاحظ أنه، في حالة صياغة قضية تحليلية، من الضروري دائماً أن نعين البيّنة بوضوح، إذ لا ينبغي أن يقول العالم: «إن لهذا الفرض، احتمالاً بنسبة ٨». ولكن عليه أن يضيف «من جهة البينة كيت وكيت» وإذا لم يضف هذا، فإن قضيته هذه تؤخذ باعتبارها قضية احتمال احصائي. فإذا كانت نيته متجهة الى اعتبارها قضية احتمال منطقي، اذن فهي قضية تقديرية، افتقرت إلى مركب هام. ففي نظرية الكم، مثلاً، يصعب علينا أن نعرف ما إذا ما كان العالم يقصد الاحتمال الاحصائي أم الاحتمال المنطقي. فالعلماء عادة لا يضعون خطا فاصلا بينهما، إذ نراهم يتكلمون عن تصور واحد فقط للاحتمال يأخذون به في عملهم. وربما يقولون «نوع الاحتمال الذي نعينه، هو الذي يحقق البديهيات المعتادة لنظرية الاحتمال». ولكن البديهيات المعتادة لنظرية الاحتمال، يتم تحقيقها بكلا المفهومين. ومن ثم نجد أن هذه الملاحظة، لم توضح مسألة نموذج الاحتمال الذي يعنونه بدقة. وهذا اللبس نجده ايضاً في قضايا لابلاس، وآخرين ممن قاموا بتطوير المفهوم الكلاسيكي للاحتمال. إذ لم يتسن لهم معرفة ـ كما نعرف اليوم ـ الاختلاف بين الاحتمال المنطقي والاحتمال التكراري. ولهذا السبب لم يكن في مقدورنا أن نقرر أي المفهومين كانوا يعنون. ومع هذا فإنني مقتنع بأنهم كانوا يعنون ـ في الغالب، وليس دائماً ـ المفهوم المنطقي. وفي رأيي، لم يقم ميزس والتكراريون الآخرون بتصحيح الانتقادات المحددة التي كالوها للمدرسة الكلاسيكية، إذ نجد ميزس يعتقد أنه ليس ثمة مفهوم علمي آخر للاحتمال سوى المفهوم التكراري. وعليه فلقد افترض أن الكتاب الكلاسيكيين لم يقصدوا بالاحتمال أي شيء آخر سوى الاحتمال الاحصائي. وبالطبع لم يكن في مقدورهم أن يعلنوا بوضوح وجلاء أنهم يقصدون العلاقة التكرارية في سلسلة طويلة، ولكن هذا هو بالضبط ـ طبقاً لما يذهب إليه ميزس ـ ما كانوا يرمون إليه بشكل واضح. وأنا لا أوافق على هذا الرأي، ولكنني اعتقد أنهم عندما كانوا يقومون بصياغة قضايا معينة عن

احتمال قبلي a priori إنما كانوا يتحدثون في الحقيقة عن الاحتمال المنطقي، لأنه تحليلي، والتحليلي عندهم كان معروفاً بأنه قبلي. ولا أنظر إلى هذه القضايا ـ كما فعل ميزس ورايشنباخ ـ بوصفها انتهاكات للمذهب الامبيريقي «Empiricism».

ويجدر بي أن أذكر كلمة تحذير، وهي أنني بعد آن عبرت عن وجهة نظري في كتابي الذي يتناول الاحتمال، أشار عدد من الزملاء ـ وبعضهم أصدقاء لي ـ إلى اقتباسات معينة لمؤلفين كلاسيكيين، وقالوا ان الاحتمال المنطقي لا يمكن أن يكون هو نفسه الذي كان في ذهن هؤلاء المؤلفين. وانني لأتفق مع هذا الرأي لأن الكتاب الكلاسيكيين لم يقصدوا من بعض القضايا التي ذكروها، الاحتمال المنطقي، ومن المحتمل أنهم قصدوا بها الاحتمال التكراري. ومع ذلك، فإنني مقتنع أن مفهومهم الأساسي كان الاحتمال المنطقي. وأعتقد أن هذا متضمن حتى في عنوان أول كتاب منهجي في هذا المجال، وأعني به كتاب جاكوب بيرنوي Ars conjectandi الذي هو فن التخمين. ولم تكن نظرية ميزس في الاحتمال فناً تخمينياً، بل كانت نظرية بديهية مصاغة بشكل رياضي لظواهر الكتلة، ولم يكن هناك شيء يتطلب تخميناً. ولكن ما قصده بيرنوي كان شيئاً مختلفاً تماماً، لأنه قال عند مشاهدتنا لحوادث معينة كتلك التي نشاهدها عند سقوط زهر، فإننا نخمن الطريقة التي سوف يسقط بها الزهر إذا قذفناه مرة أخرى، أو الطريقة التي نجري بها مراهنات معقولة. اذن الاحتمال بالنسبة للكتاب الكلاسيكيين كان درجة من التأكيد أو الثقة بأن اعتقاداتنا قد تتحقق في الحوادث المستقبلية. وهذا النوع من الاحتمال، احتمال منطقي وليس احتمالاً بالمعنى الاحصائي.

ولن أمضي إلى تفصيلات أكثر هنا عن وجهة نظري في الاحتمال، لأن ذلك سوف يضطرني إلى الدخول في تعقيدات تقنية، ولكنني سوف اناقش استدلالا واحداً ربما ينجح في الوصول إلى ضم مفهومي الاحتمال معاً. ويحدث هذا عندما يشتمل الفرض أو واحدة من مقدمات الاستدلال الاستقرائي على مفهوم الاحتمال الاحصائي. ويمكننا أن نرى هذا بسهولة عن طريق تعديل المنهج الاساسي المستخدم في مناقشتنا للقوانين الكلية. فبدلاً من القانون الكلي (١) نأخذ القانون الاحصائي اَ بوصفه مقدمة أولى، تقرر أن التكرار النسبي (ت س) للقضية ك من جهة القضية ق تساوي ٨,٠، وتقرر المقدمة الثانية (٢) أن الحادث الفردي المعين أ له الخاصية ق. وتؤكد القضية الثالثة (٣) على أن لـ أ الخاصية ك. وتعد القضية الثالثة ق أ بمثابة فرضية نرغب في افتراضها على أساس المقدمتين.

وصورتها الرمزية على هذا النحو:

(اَ) ت س (ك، ق) = ر.

(٢) ق أ .
(٣) ك أ .

ماذا نقول عن العلاقة المنطقية (٣) بالنسبة الى (أَ) و(٢)؟ في الحالة السابقة ـ حالة القانون الكلي ـ استطعنا أن نصوغ القضية المنطقية التالية:

(٤) القضية (٣) متضمنة منطقياً في (٢) و(٢) .

ولا يمكننا أن نصوغ مثل هذه القضية بالنسبة الى المنهج المفترض سابقاً، لأن المقدمة الجديدة (أَ) أضعف من المقدمة السابقة (أ)، فهي تذكر تكراراً نسبياً وليس قانوناً كلياً. ومع ذلك يمكننا أن نصوغ القضية التالية، التي تؤكد أيضاً على علاقة منطقية، ولكن في حدود الاحتمال المنطقي أو درجة التأييد وليس في حدود التضمن:

(٤) القضية (٣) على أساس أَ و(٢)، الاحتمال فيها بنسبة ٨, ٠

لاحظ أن هذه القضية، مثلها في ذلك مثل القضية (٤) ليست استدلالاً منطقياً من أَ و(٢). وإنما تنتمي (٤) و ٤َ إلى ما يمكن أن نطلق عليه اسم «ما وراء اللغة» «A Metalanguage»، وهي قضايا منطقية عن ثلاثة تقديرات: (١) (أو أ، على الترتيب) و(٢) و(٣) .

وضروري ان نفهم بدقة ما نعنيه بقضية مثل أن «الاحتمال الاحصائي لـ هـ من جهة ن تساوي ٨, ٠» إذ أن العلماء عندما يصوغون مثل هذه القضايا، فإنهم يتحدثون عن الاحتمال بالمعنى التكراري، ولا يتضح دائماً ما يعنونه بدقة من كلمة تكراري. هل هو تكراري لـ هـ في المثال السابق؟ أم هو تكراري لـ هـ في مجموعة من السكان نبحثها؟ أم هو تقدير Estimate للتكراري في مجموعة السكان؟ لو أن عدد الحالات الملاحظة في المثال كبيرة جداً، اذن لما اختلف بدرجة كبيرة تكرار هـ في المثال السابق، عن تكراري هـ في مجموعة السكان، عن تقدير هذا التكراري. ومع ذلك لابد أن نحتفظ في ذهننا بالتمييز النظري المتضمن هنا .

افترض أننا نرغب في أن نعرف النسبة المئوية لمائة ألف رجل يسكنون مدينة معينة، يحلقون بآلة حلاقة كهربية. وتقرر للمسألة ألف رجل منهم، ولتجنب الانحراف في مثالنا، يجب أن نختار الألف رجل ممن يعملون في حقل تكنيكي حديث. افترض أننا حصلنا على نموذج لا ينحرف، وكان مقداره ٨٠٠ رجل يستخدمون الموسى الكهربي. ومن ثم فإن التكرار النسبي هنا يساوي ٨, ٠ ولأن ألف رجل، عدد كبير ومناسب في مثالنا، فينبغي أن نحسب الاحتمال الاحصائي لهذه الخاصية في المجموعة الكلية للسكان، وهي تساوي هنا ٨, ٠ والكلام الدقيق أن

هذا الحساب ليس مضموناً. فقط قيمة التكرار في المثال معروفة، أما قيمة التكرار في المجموعة فهي غير معروفة. وأفضل ما يمكننا فعله هو تقدير التكرار في المجموعة. هذا التقدير لا ينبغي أن يكون ملتبساً مع قيمة التكرار في المثال. وعلى العموم مثل هذه التقديرات يجب أن تنحرف في اتجاه معين من التكرار النسبي في المثال.

إفترض أن اَ معروفة وهي: الإحتمال الاحصائي لـ «هـ» من جهة «ن»، وتساوي ٨,٠؛ كيف يتسنى لنا معرفة أن هذه المسألة ليست في حاجة إلى البحث؟ ينبغي أن نجري اختباراً على المجموع الكلي للسكان الذي هو مائة ألف رجل، وذلك عن طريق مقابلة كل رجل في المدينة). وقضية هذا الاحتمال بالطبع، قضية امبيريقية. افترض ايضاً أن المقدمة الثانية معروفة: (٢) ق أ. نستطيع الآن أن نصوغ القضية (٤َ) التي تقرر أن الاحتمال المنطقي لـ (٣) ك أ، من جهة المقدمتين (١َ)، (٢) يساوي ٨,٠. ومع ذلك إذا كانت المقدمة الأولى ليست احتمالاً احصائياً. ولكنها قضية تكرار نسبي، اذن لكان ينبغي علينا أن نضع في الحسبان حجم المثال. ويمكننا أن نحسب الاحتمال المنطقي، أو درجة التأييد المعبر عنه في القضية (٤)، ولن يكون في هذه الحالة ٨,٠ تماماً. ولكنه سوف ينحرف عن ذلك (بطريقة سبق لي أن عرضتها في رسالة صغيرة لي بعنوان «استمرارية المناهج الاستقرائية» «The Continnum of Inductive Methods» (١٩٥٢)، وقمت في هذه الرسالة بتطوير عدد من التقنيات لتقدير التكرار النسبي على أساس الأمثلة الملاحظة).

وعندما يجرى استدلال استقرائي بهذه الوسيلة، أي من مثال إلى مجموعة من السكان، أو من مثال واحد إلى مثال مستقبلي غير معلوم، أو من مثال واحد إلى حالة مستقبلية غير معلومة، فإنني اتحدث عنه بوصفه «استدلالاً احتمالياً غير مباشر» أو «استدلالاً استقرائياً غير مباشر»، وذلك لتمييزه عن الاستدلال الاستقرائي الذي يمضي من مجموعة من السكان الى مثال أو حالة واحدة. وكما سبق لي القول، لو أن معرفة الاحتمال الاحصائي الفعلي في مجموعة السكان، كان متاحاً في (١َ)، اذن لكان في مقدورنا ان نقرر في (٤) نفس القيمة العددية التي قررناها لدرجة التأييد. ومثل هذا الاستدلال لا يكون استنباطياً، ولكنه يحتل موقعاً متوسطاً من بين الانواع الأخرى من الاستدلالات الاستقرائية والاستنباطية، أطلق عليه بعض الكتاب اسم «استدلال الاحتمال الاستنباطي» ولكنني أفضل أن أتحدث عنه بوصفه استقرائياً أكثر منه استنباطياً. لأنه عندما يكون لدينا احتمال احصائي عن مجموعة من السكان، ونرغب في تحديد احتمال عينة منها، فإن القيم التي نحصل عليها بالمنطق الاستقرائي، هي نفسها القيم التي يتوصل اليها الاحصائي. ومع ذلك، إذا أجرينا استدلالا غير مباشر من عينة واحدة الى مجموعة من السكان،

أو من عينة الى حالة واحدة مستقبلية أو عينة نهائية مستقبلية (والحالتان الأخيرتان اطلق عليهما اسم «الاستدلالات التنبؤية»)، فإنني اعتقد أن المناهج المستخدمة في الاحصاءات غير ملائمة تماماً. ولقد عرضت بالتفصيل في رسالتي «استمرارية المناهج الاستقرائية» الدواعي التي جعلتني اعتقد في هذا .

غير أن النقاط الرئيسية التي أود التشديد عليها هنا هي: أن كلا نموذجي الاحتمال - الاحصائي والمنطقي - يمكن استخدامهما معاً بنفس سلسلة التعليلات، إذ أن الاحتمال الاحصائي يعد جزءاً من اللغة الموضوعية للعلم. ومن قضايا الاحتمال الاحصائي يمكننا أن نطبق الاحتمال المنطقي الذي هو جزء من لغة العلم الماورائية. وقناعتي شديدة أن وجهة النظر هذه تعطي صورة أوضح بكثير للاستدلال الاحصائي من تلك التي نجدها بصفة عامة في كتب الاحصاء، وأنها تمدنا بأساس ضروري لبناء منطق استقرائي مناسب للعلم .

الفصل الرابع

المنهج التجريبي

من أهم الملامح التي تميز العلم الحديث، بالمقارنة بعلم العصور المبكرة، هو تأكيده على ما يمكن أن نطلق عليه اسم «المنهج التجريبي». وكما رأينا، تعتمد كل المعرفة الامبيريقية، وبشكل نهائي، على الملاحظات. غير أن هذه الملاحظات يمكن تحقيقها بوسيلتين مختلفتين كل الاختلاف. فهناك أولاً الوسيلة غير التجريبية، وفيها نلعب دوراً سلبياً. اذ اننا ننظر ببساطة إلى النجوم أو إلى بعض الأزهار، نلاحظ فيها المتماثلات والمتباينات، ونحاول الكشف عن الانتظامات التي يمكن التعبير عنها بالقوانين. وهناك ثانياً الوسيلة التجريبية، وفيها نمارس دوراً ايجابياً. اذ بدلاً من كوننا مجرد مشاهدين، نحاول أن نفعل شيئاً ما قد يؤتي بنتائج ملاحظية (مختصة بالملاحظة)، أفضل من تلك التي نجد أنفسنا مجرد مشاهدين للطبيعة. وبدلاً من الانتظار حتى تجود علينا الطبيعة بمواقف نلاحظها، نحاول أن نخلق مثل هذه المواقف. أي اننا باختصار، نقوم باجراء تجارب.

ولقد كان المنهج التجريبي مثمراً إلى أقصى حد، فعن طريقه تم التقدم العظيم في الفيزياء في المائتي سنة الاخيرتين، وبصفة خاصة، في العقود القليلة الماضية، وكان من المستحيل أن يتم ذلك بدون استخدام المنهج التجريبي. وإذا كان الأمر كذلك، فقد يسأل سائل، لماذا لم يستخدم المنهج التجريبي في كل مجالات العلوم؟

الحقيقة أن هناك بعض المجالات التي يصعب استخدامه فيها مثلما نستخدمه في الفيزياء. ففي علم الفلك مثلاً، لا يمكننا أن نعطي دفعة لكوكب في اتجاه آخر بعض الشيء، لنرى ما قد يحدث له نتيجة لهذه الدفعة. إذ ان الموضوعات الفلكية بعيدة كل البعد عن متناولنا، ولا يسعنا

الا أن نلاحظها ونقوم بوصفها. كما أنه يمكن لعلماء الفلك، في بعض الأحيان، أن يقوموا بخلق شروط في المعمل، شبيهة بتلك التي تحدث على سطح الشمس أو القمر، وعندئذ يقومون بملاحظة ما يحدث في المعمل تحت هذه الشروط. ولكن هذا لا يعد في حقيقة الأمر تجربة فلكية حقيقية. وإنما هو أقرب إلى التجربة الفيزيائية التي تتفق إلى حد ما والمعرفة الفلكية.

ولأسباب مختلفة تماماً، يمتنع علماء الاجتماع عن إجراء تجارب على مجموعات كبيرة من الناس. إذ انهم عادة ما يجرون تجاربهم على مجموعات صغيرة. فإذا أردنا أن نعلم ما هو رد فعل الناس عندما يصبحون عاجزين عن الحصول على الماء يمكن أن نتخير من بينهم اثنين أو ثلاثة نعطيهم طعاماً لا يحتوي على سائل، ونلاحظ ردود أفعالهم. ولن يتاح لنا معرفة رد فعل جماعة كبيرة لم تتزود بالماء. اذ ستكون التجربة مثيرة إذا ما أوقفنا مثلاً تزويد مدينة نيويورك بالماء. هل سيصاب الناس بالهوس أم بالبلادة؟ هل سيحاولون أن ينظموا ثورة ضد حكومة المدينة؟ بالطبع لا يجرؤ عالم الاجتماع أن يقترح مثل هذه التجربة، لأنه يعرف سلفاً أن المجتمع لن يسمح له بذلك، كما أن الناس لن يسمحوا لعلماء الاجتماع بأن يعبثوا باحتياجاتهم الأساسية.

وحتى إذا لم يتضمن هذا ضرراً حقيقياً يمكن أن يقع على المجتمع، فإنه يظل هناك ضغوط اجتماعية قوية يمكن أن تمارس ضد التجارب التي تجرى على المجموعة. إذ ان هناك على سبيل المثال، قبيلة في المكسيك اعتادت على ممارسة رقصة شعائرية عند كسوف الشمس، ويعتقد أفراد القبيلة أن هذه هي الطريقة الوحيدة لتطييب خاطر الإله الذي يسبب الكسوف، وبعدها يعود ضوء الشمس. افترض أن مجموعة من الانثربولوجيين حاولوا أن يقنعوا هؤلاء الناس بأن الرقصة الشعائرية لا تأثير لها في عودة الشمس. ولهذا يقترح الانثروبولوجيون على القبيلة أن تمتنع عن الرقص في الزمن الثاني لغياب الشمس، ويرون ما يحدث، على سبيل التجربة. سوف يرد عليهم رجال القبيلة بحنق أن هذا يعني بالنسبة لهم الجري وراء مخاطرة العيش بقية حياتهم في ظلام. ولا يمكن في رأيهم أن يوضع مثل هذا الامر موضع اختبار. وهكذا، كما ترى، توجد عوائق كبيرة لاجراء تجارب في مجال العلوم الاجتماعية، حتى ولو كان العلماء مقتنعين بأن اجراء مثل هذه التجارب لن تسبب ضرراً اجتماعياً. وبصفة عامة، نجد أن العالم الاجتماعي مقيد بما يمكن أن يتعلمه من التاريخ ومن التجارب مع الأفراد والمجموعات الصغيرة. ومع ذلك، غالباً ما تجرى تجارب في ظل حكومة ديكتاتورية، ليس بغرض اختبار نظرية، ولكن بالأحرى لأن الحكومة تعتقد أن الاجراء الحديث سوف يجعل العمل أفضل من القديم. ومن ثم نجد أن الحكومة تجري تجاربها على فئات واسعة سواء في الزراعة أو الاقتصاد، وهكذا. أما في ظل

حكومة ديموقراطية نجد أنه من المستحيل اجراء مثل هذه التجارب الجريئة، لأنها إذا لم تثبت في النهاية أن هذه التجارب صائبة فقد تواجه الحكومة بموجة من الاستياء العام تؤثر عليها في الانتخاب الثاني .

اذن المنهج التجريبي، يكون مثيراً، بوجه خاص، في المجالات التي يمكن فيها قياس المفاهيم الكمية بدقة. وعلينا أن نتساءل الآن، كيف يتسنى للعالم أن يقوم بتصميم تجربة؟ الحقيقة أنه من الصعوبة بمكان أن نصف الطبيعة العامة للتجارب، لأن هناك العديد من الأنواع المختلفة منها، ولكن على أية حال يمكننا الإشارة إلى ملامح عامة قليلة منها .

أولاً وقبل كل شيء، علينا أن نحدد العوامل الموافقة التي تشتمل عليها الظاهرة التي نرغب في بحثها، وأن نترك جانباً بعض العوامل الأخرى ـ وليس الكثير منها ـ على اعتبار أنها غير موافقة. ففي تجربة في الميكانيكا مثلاً، تشتمل على عجلات وروافع، وما إلى ذلك، ربما نقرر أن نصرف النظر عن عامل الاحتكاك. وعلى الرغم من أننا ندرك أن الاحتكاك داخل ضمن عواملنا، إلا أننا نرى أن تأثيره ضئيل جداً بحيث إذا أثبتناه لأدى إلى تعقيد التجربة. وبالمثل إذا كانت التجربة على أجسام بطيئة الحركة، ربما اخترنا أن نهمل مقاومة الهواء. أما إذا تعاملنا مع سرعات عالية جداً، كقذيفة تتحرك بسرعة أسرع من الصوت، لما استطعنا أن نهمل مقاومة الهواء. وعلى الجملة، فإن العالم يهمل تلك العوامل التي يرى أن تأثيرها على تجربته غير ذات أهمية؛ كما أنه، في بعض الأحيان، وحرصاً منه على ألا تكون تجربته معقدة للغاية، ربما يهمل أيضاً عوامل يرى أن تأثيرها قوي .

وبعد البت في أمر العوامل الموافقة، نقوم باختراع تجربة نستبقي فيها على بعض هذه العوامل ثابتة، بينما نسمح للبعض الآخر منها أن يكون متغيراً. افترض أننا نتعامل مع غاز في اناء، وأردنا أن نحتفظ بدرجة حرارة الغاز ثابتة على قدر استطاعتنا. فإننا نغمر الاناء في حوض ماء، حجمه أكبر بكثير من حجم الاناء (الحرارة النوعية للغاز صغيرة بالمقارنة بالحرارة النوعية للماء، وحتى إذا اختلفت درجة حرارة الغاز مؤقتاً عن طريق الضغط أو التمدد، فإنها سوف تعود بسرعة إلى درجة حرارتها الأصلية). أو ربما نرغب في أن نحتفظ بتيار كهربائي معين عند معدل ثابت من السريان. ربما يتم ذلك عن طريق الحصول على أمبير متر(*) فإذا لاحظنا زيادة أو نقصاناً في التيار، لأمكننا أن نغير المقاومة ونحتفظ بثبات التيار. بمثل هذه الوسائل وغيرها

(*) الامبير متر هو ميزان قوة التيار الكهربائي محسوباً بالوحدة الامبيرية. (المترجم).

نستطيع أن نحتفظ بمقادير ثابتة معينة، ونلاحظ في الوقت نفسه ما يحدث عندما تتغير مقادير اخرى .

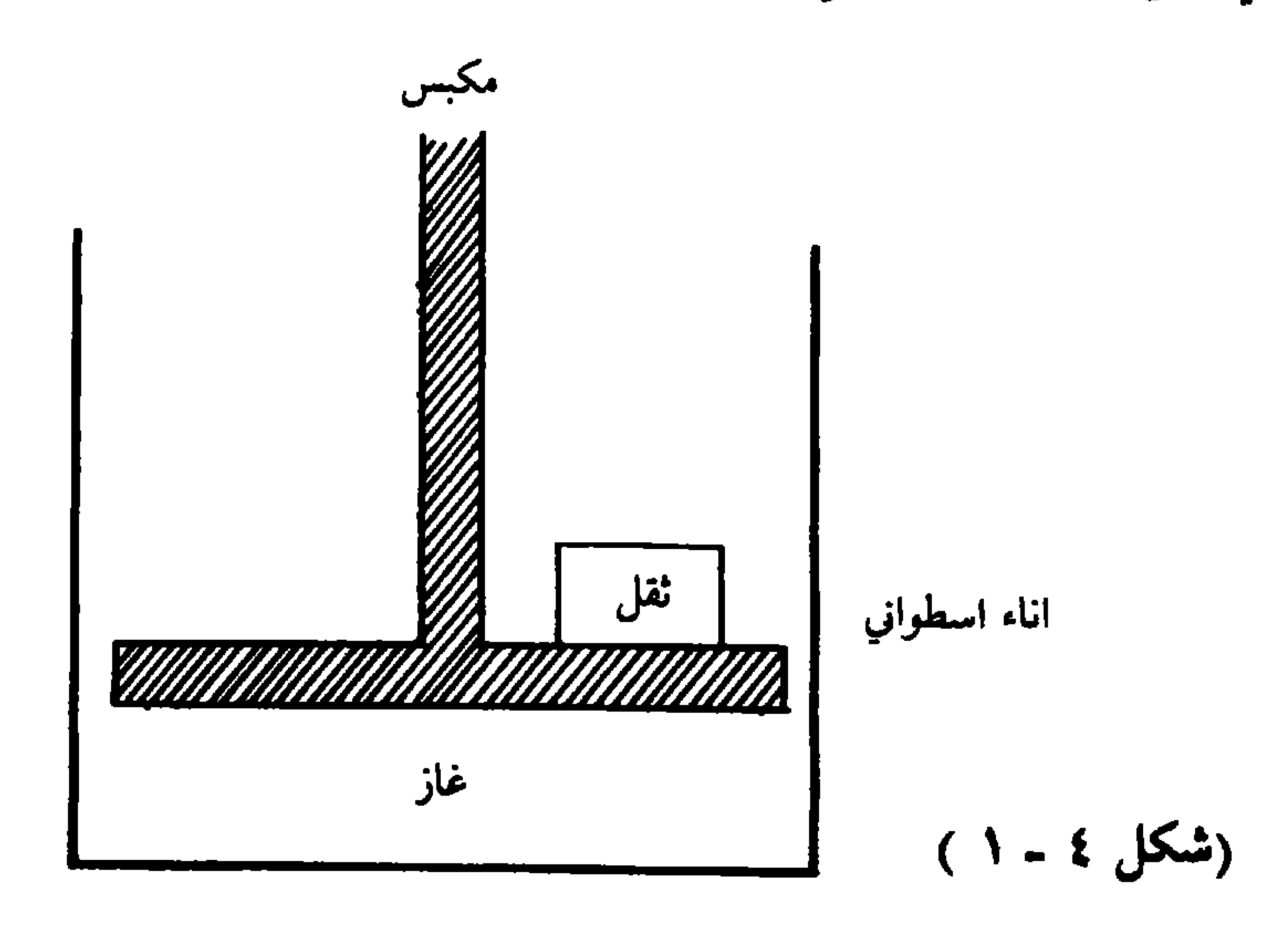
على أن يكون هدفنا النهائي هو اكتشاف القوانين التي تربط كل هذه المقادير المناسبة، بشرط ألا تكون مشتملة على عوامل كثيرة، والا أصبح الاختبار معقداً، كما سبق القول. لذلك ينبغي أن نحدد هدفنا منذ البداية في أقل مستوى من القوانين التي ترتبط ببعض العوامل. فإذا اشتملت التجربة على المقادير ك، فإن الخطوة الأولى الأبسط، هي أن نقوم بعمل ترتيب للتجربة، وعليه فإن المقادير ك٢ تكون ثابتة .

وينتج عن هذا مقداران م١، م٢ . وبما أننا أحرار في أن نغير، اذن فعلينا أن نغير واحدة منهما، ونلحظ كيف تسلك الأخرى. ربما تنخفض م٢، بينما نزداد م١، أو ربما تزداد م١ بينما ترتفع م٢ أولاً ثم تنخفض بعد ذلك. وعليه فإن قيمة م٢ تكون دالة لقيمة م١. وربما نحدد المعادلة الـتي تعبر عن هذه الدالة، بأن نرسم هذه الدالة على شكل منحنى على ورقة رسماً بيانياً، وعندئذ نتوصل الى قانون محدد: إذا كانت المقادير م٣، م٤، م٥. . . ثابتة، وزادت م١، اذن لتغيرت م٢ بطريقة يمكن التعبير عنها بمعادلة معينة. ولكن هذه هي البداية فقط، لأننا نستمر في اجراء تجربتنا، متحكمين في المجموعات الأخرى للعوامل ك ٢ ، وعليه نتمكن من أن نعرف كيف ترتبط دالياً الأزواج الأخرى من المقادير. وأخيراً نجري التجربة بنفس الطريقة ثلاثة أضعاف، محتفظين بكل شيء ثابت، عدا المقادير الثلاثة. وربما نستطيع أن نخمن ـ في بعض الحالات ـ من قوانيننا المتعلقة بالأزواج، بعض أو كل القوانين المتعلقة بالثلاثيات. ومن ثم، يكون هدفنا هو أن تظل القوانين اكثر عمومية فتشتمل على أربعة مقادير، وأخيراً، وحتى تكون أكثر عمومية، وأحياناً معقدة تماماً نتوصل إلى القوانين التي تغطي كل العوامل الموافقة.

وكمثال بسيط على هذا، افترض التجربة التالية على غاز. لقد قمنا بملاحظة مبدئية وجدنا فيها أن درجة حرارة الغاز، وحجمه، وضغطه كثيراً ما تتغير في آن واحد. ونريد أن نعرف علاقة كل من هذه المقادير الثلاثة بالأخرى. أما العامل الرابع الموافق هو ما الغاز الذي استخدمناه. وفيما بعد ينبغي أن نجري تجربة على غازات أخرى، ولكن علينا أن نقرر أولاً الاحتفاظ بهذا العامل ثابتاً وذلك بأن نستخدم فقط هيدروجين نقياً. نضع الهيدروجين في اناء اسطواني (انظر الشكل ٤ ـ ١) به مكبس متحرك، بحيث يمكن أن يوضع عليه ثقل، فيمكننا أن نقيس حجم الغاز ببساطة، كما يمكننا أن نغير الضغط بتغيير الثقل الموضوع على المكبس، أما درجة الحرارة فهي منتظمة ويمكن قياسها بوسائل اخرى .

قبل ان نشرع في إجراء التجارب لنحدد كيف تتعلق العوامل الثلاثة ـ درجة الحرارة، والحجم، والضغط ـ بعضها ببعض. علينا أن نجري بعض التجارب الأولية حتى نتأكد من أنه ليس ثمة عوامل موافقة اخرى. وبعض العوامل التي ربما يداخلنا الشك في كونها موافقة، لم تعد كذلك. فعلى سبيل المثال، هل شكل الاناء الحاوي للغاز مناسب؟ نعرف في بعض التجارب (كتوزيع شحنة كهربية وسطح قوتها الكهربية) أن شكل الموضوع المستخدم هام. ولا تواجهنا ها هنا صعوبة في أن نقرر أن شكل الاناء غير موافق، وأن الحجم فقط هو الموافق. يمكننا أن نعتمد على معرفتنا بالطبيعة لنستبعد العديد من العوامل الأخرى. ربما يدخل أحد المنجمين المعمل، ويتساءل: «هل راقبت مواضع الكواكب اليوم؟، ربماب كان لمواضعها بعض التأثير على تجربتك». اننا نفترض أن هذا العامل غير موافق لأننا نعتقد أن الكواكب بعيدة جداً إلى الدرجة التي لا يصبح لها تأثير.

ان افتراضنا بعدم اهمية الكواكب صحيح، ولكن قد يجانبنا الصواب اذا ما اعتقدنا أننا يمكننا أن نستبعد آلياً العديد من العوامل، لا لشيء الا لأننا نعتقد ببساطة أنها عديمة التأثير. وعليه فليس ثمة وسيلة للتأكد حتى تجرى الاختبارات التجريبية بالفعل. تخيل أنك تحيا قبل اختراع المذياع، وأن شخصاً ما وضع صندوقاً على منضدتك وأخبرك أنه إذا غنى أحد الاشخاص في بقعة معينة تبعد ألف ميل، فانك سوف تسمع جهازاً داخل الصندوق يغني نفس الأغنية، بنفس طبقة الصوت، والإيقاع تماماً. هل تصدقه؟ من المحتمل أن ترد عليه قائلاً: «مستحيل! إذ لا توجد أسلاك كهربية متصلة بهذا الصندوق. وأعرف من خبرتي استحالة أن يكون لشيء يبعد ألف ميل، أي تأثير على ما يحدث في هذه الحجرة».



(شكل ٤ ـ ١)

وهذا التعليل هو نفسه الذي يجعلنا نقرر أن مواضع الكواكب لا يمكن أن تؤثر في تجاربنا على الهيدروجين! ويتضح من هذا أننا ينبغي أن نتوخى الحذر إلى حد بعيد. ففي بعض الأحيان تكون هناك تأثيرات يستحيل أن نعرف عنها شيئاً إلا بعد أن يتم اكتشافها. ولهذا السبب فإن الخطوة الأولى المؤكدة في تجربتنا، الا وهي تحديد العوامل الموافقة، تصبح في بعض الأحيان شيئاً صعباً، بالإضافة الى أن هذه الخطوة لا تذكر غالباً ضمن تقارير الأبحاث. فالعالم يصف فقط الجهاز الذي استخدمه والتجربة التي أجراها، والعلاقات بين المقادير المعينة التي اكتشفها. ولا يردف ذلك بقوله: «واكتشفت بالإضافة الى ذلك أن كذا وكذا من العوامل ليس لها تأثير على النتائج». إذ ان العالم، في معظم الحالات، عندما يعرف المجال الذي يجري فيه البحث بشكل كاف، فإنه يسلم جدلاً بأن العوامل الأخرى غير متصلة بهذا العامل. وربما يكون على صواب تماماً غير أنه في المجالات الحديثة، لابد للمرء أن يتوخى الحذر إلى أقصى حد. لا يمكن لأحد بالطبع أن يعتقد في أن التجربة المعملية يمكن لها أن تتأثر بما إذا كنا ننظر إلى الجهاز من مسافة عشر بوصات أو عشرة أقدام، أو ما إذا كنا ننظر اليه ونحن في حالة شفقة أو غضب. يحتمل أن تكون هذه العوامل متصلة بموضوعنا، ولكن لا يمكننا أن نجزم بذلك على الاطلاق. أما إذا داخل أي شخص شك في أن هذه العوامل موافقة، فعليه أن يجري تجربة للتيقن من استبعادها.

هناك بالطبع اعتبارات عملية تمنعنا من اختبار كل عامل قد يكون موافقاً، إذ ان هناك آلافاً من الامكانيات الطفيفة التي يمكن اختبارها، ولكننا لن نجد ببساطة الوقت الكافي لفحصها جميعاً. ومن ثم علينا أن نباشر عملنا طبقاً للحس المشترك، ونصحح افتراضاتنا فقط إذا ما حدث شيء ما غير متوقع يجبرنا على أن نضع في اعتبارنا عاملاً موافقاً كنا قد أهملناه من قبل. هل يحدث لون اوراق الشجر خارج المعمل، تأثيراً على طول موجة الضوء المستخدم في المعمل؟ هل يعمل جزء من الآلة بشكل مختلف اعتماداً على ما إذا كان المالك القانوني لها متواجدا في نيويورك أو شيكاغو، أو اعتماداً على ما يعتمل في نفسه نحو التجربة؟ من الواضح أنه ليس لدينا الوقت الكافي لاختبار مثل هذه العوامل. ولكننا نفترض أن الاتجاه العقلي لمالك الآلة ليس له تأثير فيزيائي على التجربة، ولكن ربما يختلف اعضاء قبائل معينة في هذا الأمر. ربما يعتقدون أن الآلهة سوف تعضد التجربة فقط إذا كان مالك الجهاز الحقيقي يريد للتجربة أن تجري، أما إذا كان هناك مالك زائف يرغب في اجراء التجربة، فإنها سوف تتعثر.

وهكذا نرى أن الاعتقادات الثقافية تؤثر في بعض الأحيان فيما هو موافق بشكل اعتباري. أما في معظم الحالات فإن العالم يفكر في المشكلة، ويضع تخميناً يقوم على الحس المشترك عن

ماهية العوامل التي ينبغي عليه أن يضعها في الاعتبار، وربما يقوم باجراء قليل من التجارب الأولية ليتسنى له استبعاد العوامل التي يشك في أمرها .

افترض أننا قررنا أن العوامل الموافقة لتجربتنا على الهيدروجين هي درجة الحرارة والضغط والحجم. وحيث انه في اناثنا، تبقى طبيعة الغاز وكميته الكلية ثابتة، لأننا نحتفظ به في اناء مغلق بإحكام، لذا نجد أنفسنا احراراً في أن تختبر العلاقات بين العوامل الثلاثة. فإذا ما حافظنا على درجة الحرارة ثابتة لوجدنا أن الضغط يزيد، ونكتشف أن الحجم يختلف عكسياً مع الضغط. ذلك لأننا إذا ضاعفنا الضغط، لتناقص الحجم إلى نصف كميته السالفة. وإذا ضاعفنا الضغط ثلاث مرات، لتناقص الحجم الى الثلث. هذه التجربة مشهورة، وقد أجراها الفيزيائي الإيرلندي روبرت بويل في القرن السابع عشر، ويعرف باسم قانون بويل، وينص على أنه إذا ظلت درجة حرارة الغاز المحبوس بإحكام ثابتة لظل ناتج الحجم والضغط ثابتين .

فإذا احتفظنا فيما بعد بثبات الضغط (وذلك بأن نترك نفس الثقل على المكبس) وقمنا بتغيير درجة الحرارة، لاكتشفنا أن الحجم يزداد عند تسخين الغاز ويتناقص عند تبريده، وبقياس الحجم ودرجة الحرارة، نجد أن الحجم متناسب مع درجة الحرارة. (ويسمى هذا في بعض الأحيان بقانون شارل، نسبة إلى العالم الفرنسي جاك شارل Jacques Charles). وعلينا أن نتوخى الحذر، فلا نستخدم الفهرنهايت أو المقياس المئوي، وإنما نستخدم المقياس الذي يكون فيه الصفر «صفراً مطلقاً»(*) أو ـ ٢٧٣ بالمقياس المئوي. وهذا هو «المقياس المطلق» أو «مقياس كلفن» الذي أدخله العالم الانجليزي لورد كلفن في القرن التاسع عشر. ولم يعد أمامنا الآن إلا خطوة سهلة لمراجعة القانون العام الذي يغطي العوامل الثلاثة معاً مراجعة تجريبية .

والحقيقة أن هذا القانون تم اقتراحه من القانونين اللذين توصلنا اليهما بالفعل، ولكن للقانون العام مضموناً امبيريقياً اكبر من القانونين المأخوذين معاً. فهذا القانون ينص على أنه إذا ظلت كمية الغاز المحبوس ثابتة لتساوى الضغط والحجم مع درجة الحرارة ث (ض. ح = د. ث). و ث في هذه المعادلة هي الثابت الذي يتغير مع كمية الغاز محل البحث. هذا القانون العام يوضح العلاقة بين المقادير الثلاثة جميعاً، ولذلك فهو ذو كفاية اكثر أهمية في القيام بتنبؤات من القانونين الآخرين المشتركين معه. فإذا علمنا قيمة أي مقدارين من المقادير الثلاثة المتغيرة، لاستطعنا ببساطة أن نتنبأ بالثالث .

هذا المثال الذي طبق على تجربة بسيطة، يبين أنه من الممكن أن نحتفظ بعوامل معينة

(*) الصفر المطلق هو درجة حرارة فرضية تتسم بفقدان الحرارة فقداناً كاملاً وتعادل ٢٧٣,١٦ درجة مئوية تحت الصفر أو ٤٥٩,٦٩ درجة فهرنهايت تحت الصفر. (المترجم) .

ثابتة، حتى نقوم بدراسة الاعتمادات التي تنعقد بين عوامل اخرى. كما يبين ـ وهذا هو المهم ـ كيف يمكن للمفاهيم الكمية ان تؤتي بثمارها. إذ تفترض القوانين المحددة بهذه التجربة، القدرة على قياس المقادير المختلفة المتضمنة فيها.

وإذا لم يكن الأمر كذلك، لتمت صياغة القوانين بطريقة كيفية، ومثل هذه القوانين ستكون أضعف بكثير، وأقل فائدة في عمل تنبؤات. إذ بدون المقاييس العددية للضغط، والحجم، ودرجة الحرارة، لأمكننا، في الغالب، أن نقول عن احد المقادير أنه سوف يظلُّ كما هو، أو أنه سوف يزداد أو يتناقص. ومن ثم لقمنا بصياغة قانون بديل بقولنا: إذا ظلت درجة حرارة غاز محبوس كما هي، وازداد الضغط، اذن لتناقص الحجم، وعندما يتناقص الضغط، يزداد الحجم. بالتأكيد هذا قانون، وشبيه إلى حد ما بقانون بويل، ولكنه اكثر ضعفاً من قانون بويل، لأنه لا يمكننا من التنبؤ بالكميات الدقيقة للمقادير، انه يمكننا فقط من التنبؤ بأن المقدار سوف يزداد أو يتناقص او يظل ثابتاً.

وتصبح عيوب الصياغة الكيفية لقوانين الغازات اكثر وضوحاً إذا افترضنا قانوناً عاماً تم التعبير عنه بالمعادلة: ض. ح = د. ث. ولنكتب المعادلة على النحو التالي:

$$ح = \frac{د}{ض} . ث.$$

لن نتمكن من هذه المعادلة العامة، المصاغة كيفياً، إلا أن نشتق صياغات ضعيفة لقانون بويل وقانون شارل. افترض أننا سمحنا للمقادير الثلاثة ـ الضغط الحجم، درجة الحرارة ـ أن تختلف في الوقت نفسه، عدا كمية الغاز (ث) التي تظل ثابتة. سوف نجد بالتجربة زيادة كلا من درجة الحرارة والضغط. وماذا عن الحجم؟ لن نستطيع في هذه الحالة، أن نقرر ما اذا كان الحجم قد ازداد أو تناقص أو ظل ثابتاً. لأننا إذا أردنا أن نعين هذا، لكان علينا أن نعرف المعدلات التي بها تزداد درجة الحرارة والضغط. وإذا زادت درجة الحرارة بمعدل أعلى من الضغط إذن لاستتبع من الصيغة السالفة أن الحجم سوف يزداد، ولكن إذا لم نستطع اعطاء قيم عددية للضغط ودرجة الحرارة، لن نستطيع في هذه الحالة أن نتنبأ بأي شيء على الإطلاق فيما يتعلق بالحجم.

وهكذا، يتضح لنا إلى أي درجة يمكن للتنبؤ أن يكون كاملاً بهذه الطريقة، وإلى أي درجة يمكن للتفسيرات أن تكون فجة إذا تمت صياغة قوانين العلم بالقوانين الكيفية. أما القوانين الكمية فهي أسمى بكثير، لذلك علينا أن نعطي مفاهيم كمية لمثل هذه القوانين. وهذا هو محور موضوعنا الذي سوف نتناوله بالتفصيل في الفصل الخامس.

القسم الثاني: القِيَاس وَاللّغَة الكمِيَّة

الفصل الخامِس

مجموعَات ثلاث لِلمفَاهيم في العِلم

ربما كان من الملائم تقسيم مفاهيم العلم، كما هو الحال في الحياة اليومية الى ثلاث مجموعات أساسية: تصنيفية Classificatory، ومقارنة Comparative، وكمية Quantitative

أعني «بالمفهوم التصنيفي» ببساطة، أنه ذلك المفهوم الذي يضع موضوعاً ما في فئة معينة. فكل المفاهيم الخاصة بتصنيف الأحياء في علم النبات وعلم الحيوان ـ أنواعها وسلالتها، وأجناسها المختلفة، وهكذا ـ تعد مفاهيم تصنيفية، وهي تختلف إلى حد كبير في كمية المعلومات التي تزودنا بها عن الموضوع. فإذا قلت مثلاً عن شيء ما انه أزرق، أو ساخن، أو مكعب، فإنني أكون تقريرات ضعيفة نسبياً عن الموضوع. وحتى نضع الموضوع في فئة اكثر تحديداً، فلابد أن تزداد المعلومات الخاصة بهذا الموضوع، حتى ولو ظلت بسيطة نسبياً. إذ أن التقرير بأن لهذا الموضوع تركيباً عضوياً حياً، يجعلنا نتنبأ اكثر بكثير مما لو قررنا بأنه ساخن. كما ان التقرير الذي يفيد بأنه «حيوان» يزيد قليلاً من المعلومات، وتزداد اكثر إذا أفاد بأنه «فقري». وعندما تستمر الفئات في التضييق ـ ثديا كلب، كلب صغير كثيف الشعر وهكذا ـ فإننا نضاعف هذه الفئات بكمية من المعلومات، ومع ذلك تظل قليلة نسبياً. والحقيقة أن المفاهيم التصنيفية تعد من أكثر المفاهيم الفة لنا، إذ ان الكلمات الأولىٰ التي يتعلمها الطفل ـ «كلب»، «قط»، «منزل»، «شجرة» ـ تنتمي إلى هذا النوع.

أما المفاهيم الأكثر فعالية في توصيل المعلومة، إنما هي «المفاهيم المقارنة»، لأنها تمثل مكانة متوسطة بين المفاهيم التصنيفية والكمية. وأعتقد أنه من المناسب أن نوليها بعض الاهتمام، لأن قيمتها وقوتها كثيراً ما اهملتا، حتى بين العلماء أنفسهم. وأحياناً نصادف عالماً يقول: «انها مطلوبة

بالتأكيد حتى نقدم بها المفاهيم الكمية، وهي تلك المفاهيم التي يمكن قياسها بمقياس الرسم. أما في مجالي، ولسوء الحظ، فإنني لا أستطيع عمل ذلك، لأن هذا المجال لا يزال في خطواته الأولى، إذ أننا لم نطور بعدالأساليب التكنيكية للقياس، ومن ثم إننا نحصر أنفسنا في اللا كمي، أي في اللغة الكيفية. وربما في المستقبل، عندما يتقدم هذا المجال أكثر، يكون في مستطاعنا أن نطور اللغة الكمية». وربما يكون هذا العالم على حق تماماً في قوله هذا، ولكنه يخطىء إذا تصور أنه بحديثه عن الحدود الكيفية، ينبغي له أن يعرف لغته بمفاهيم تصنيفية، وهي المفاهيم الأكثر فجاجة من المفاهيم المقارنة التي يمكن ـ في الغالب ـ أن تسبق المفاهيم الكمية وتكون مقدمة لها، حيث ان لديها الكثير جداً من الأدوات الفعالة التي تصلح للوصف والتنبؤ والتفسير.

ان المفهوم التصنيفي يضع الموضوع مثل «ساخن» أو «بارد» في فئة فقط، أما المفهوم المقارن، فإنه يخبرنا كيف يتعلق الموضوع مثل «أكثر سخونة» أو «أكثر برودة» بموضوع آخر سواء أكان أكثر أم أقل. وقبل أن يقوم العلم بتطوير مفهوم درجة الحرارة الذي مكنه من القياس، كان من الممكن للعالم أن يقول «هذا الموضوع أكثر سخونة من ذلك»، وعليه فإن هذا النوع من المفاهيم المقارنة مفيد للغاية. افترض مثلاً أن خمسة وثلاثين رجلاً تقدموا لشغل وظيفة تتطلب نوعاً معيناً من المهارات، وأن بالشركة سيكولوجياً لديه اختبار يمكنه من تحديد أي من المتقدمين مؤهل للوظيفة. تكون الأحكام التصنيفية هنا أفضل بالطبع من عدم وجود أحكام على الاطلاق. إذ يمكنه أن يقرر أن خمسة من المتقدمين يتصفون بخيال واسع، وأن عشرة منهم خيالهم منخفض، والباقي خيالهم لا مرتفع ولا منخفض. وبطريقة مماثلة يمكنه أن يجري تصنيفات تقريبية على الخمسة وثلاثين رجلاً في حدود مهاراتهم اليدوية، وقدراتهم الرياضية، واستقرارهم العاطفي، وهكذا. يمكننا بالطبع أن نستخدم هذه المفاهيم باعتبارها مفاهيم مقارنة ضعيفة، كأن نقول مثلاً أن هذا الشخص ذو «الخيال الواسع» أعلى في هذه المهارة من ذلك الشخص ذي «الخيال المنخفض». ولكن إذا تمكن السيكولوجي من أن يطور منهجاً مقارناً، ووضع الخمسة وثلاثين رجلاً في صف واحد وقام بترتيبهم كل حسب مهارته فسوف يعرف حينئذ الكثير عنهم، مما لو صنفهم فقط في ثلاث فئات، قوي، وضعيف، ومتوسط.

لا يمكننا أبداً أن نقلّل من أهمية المفاهيم المقارنة وخصوصاً في المجالات التي لم تتطور فيها بعد طرق البحث العلمي والمفاهيم الكمية. صحيح أن استخدام السيكولوجي للمفاهيم الكمية يتزايد يوماً بعد يوم، إلا أنه لا يزال هناك الكثير من الوقت الذي يضطر فيه السيكولوجي إلى تطبيق المفاهيم المقارنة فقط. أما الانثروبولوجيا فهي بالكاد لا تملك أيّة مفاهيم كمية، وأنها تتعامل ـ في الغالب ـ مع المفاهيم التصنيفية، ولا زالت في حاجة ماسة إلى معايير امبيريقية تمكنها

من تطوير مفاهيم مقارنة مفيدة. ولأن مجالات كهذه لم تتمكن بعد من استخدام المقاييس الكمية، فإن الحاجة تصبح ماسة إلى تطوير المفاهيم المقارنة، لما لها من فعالية أكبر بكثير من المفاهيم التصنيفية .

وحري بنا هنا أن نلفت النظر إلى رسالة كتبها كل من كارل .ج. همبل Karl G. Hempel وبول اوبنهيم Paul Oppenheim عنوانها بالألمانية «Der Typusbergriff Im Lichte Der neuen Logik» ظهرت عام ١٩٣٦ . وترجمة العنوان «مفهوم النمط من وجهة نظر المنطق الحديث» وجّه المؤلفان اهتمامهما بصفة خاصة إلى علم النفس والمجالات المتعلقة به. وكما يؤكد المؤلفان، فإن مفاهيم النمط لا تزال هزيلة إلى حد بعيد. إذ عندما يضيع السيكولوجيون وقتهم الثمين في تصنيف الأفراد إلى انبساطيين وانطوائيين والوسط بين الانبساطي، والانطوائي، أو أية انماط أخرى، فهم في الحقيقة لا يقدمون أفضل ما لديهم. وقد نجد هنا وهناك محاولات تبذل لتقديم معيار تجريبي يمكن أن يؤدي الى قيم عددية، كما هو الحال في المادة التيبولوجية Typology(علم شرح المرموز الكتابية)، التي قدمها وليام شيلدون William Shildon . ولكن في الوقت الذي كتب فيه همبل وأوبنهيم مقالتهما لم يكن هناك إلا القليل جداً من هذا النوع من المعايير. فقد كان لكل سيكولوجي يهتم بالشخصية، والفطرة، والمزاج نسقه النمطي الخاص به. ولقد أشار همبل وأوبنهيم إلى أن هذه المواد التيبولوجية المختلفة تقل كثيراً عن المفاهيم التصنيفية، وشددا على حقيقة أن هذه المواد على الرغم من أنها مبتسرة في تقديم مقاييس ومفاهيم كمية، الا أنها يمكن أن تكون خطوة عظمية إلى الأمام إذا نجح السيكولوجيون في اختراع مفاهيم مقارنة يمكن تطبيقها .

إذ غالباً ما نجد أن المفهوم المقارن قد تحول في النهاية إلى قاعدة للمفهوم الكمي. والمثال التقليدي على هذا هو المفهوم «الأسخن» الذي تطور أخيراً إلى مفهوم «درجة الحرارة». وقبل أن نخوض في التفصيلات التي توضح الطريقة التي نؤسس بها معايير امبيريقية للمفاهيم العددية، أولى بنا أن نرى كيف نؤسس المعايير للمفاهيم المقارنة .

وحتى نتمكن من توضيح ذلك، نفترض أن مفهوم الثقل قادر على اعطائنا قيماً عددية، وبما أننا لا نحوز فقط الا على مقارنة للأثقل والأخف والمتساوي في الثقل، فما هو اذن الاجراء الامبيريقي الذي نستطيع به تناول أي زوجين من الأجسام وتحديد مقارنتهما في حدود هذه المفاهيم الثلاثة؟ إننا في حاجة فقط إلى ميزان دقيق، وإلى هاتين القاعدتين:

(١) إذا توازن الجسمان على الميزان، لكانا متساويين في الثقل .

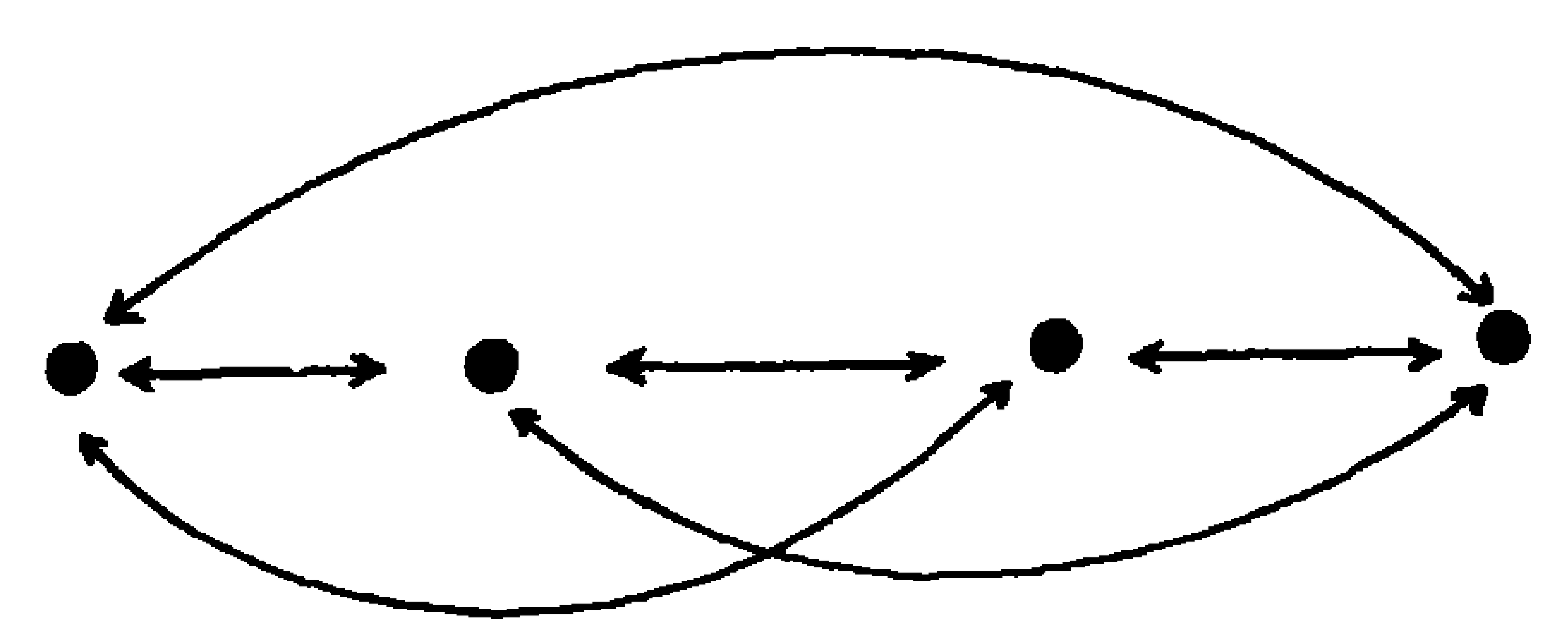
(٢) وإذا لم يتوازنا، لكان الجسم الذي على الكفة الهابطة أثقل من الجسم الذي على الكفة المرتفعة.

وبتحديد أكثر، لا نستطيع الحكم بأن لجسم ما «ثقل أكبر» من آخر، لأننا لم ندخل بعد المفهوم الكمي للثقل، ولكن ربما تستخدم مثل هذه اللغة في الممارسة العملية، حتى لو لم تكن الوسيلة متاحة بعد لتحديد قيم عددية للمفهوم، فقد تحدثنا مثلاً - منذ هنيهة - عن رجل يتمتع «بخيال أوسع» من آخر برغم عدم قدرتنا على تحديد قيم عددية للخيال.

ولكي نتمكن من توضيح الميزان الدقيق، كما هو الحال في جميع الاجراءات الامبيريقية، ولكي نقيم مفاهيم مقارنة، علينا أن نميز بين مظهرين من الاجراء، الأول أن يكون الاجراء اصطلاحياً خالصاً، والثاني ألا يكون كذلك، لأنه يعتمد اما على وقائع طبيعية أو قوانين منطقية. ولكي ندرك هذا التمييز علينا أن نقرر القاعدتين اللتين نعرف بهما المفاهيم المقارنة للثقل ألا وهي التساوي، والأثقل من، والأخف من، بشكل أكثر صورية. بالنسبة للتساوي، نجد أننا في حاجة إلى قاعدة لتعريف علاقة تطابق تخضع للملاحظة an observable relation corresponding، وسوف أرمز إليها بالرمز «ت». أما بالنسبة للمفهومين الآخرين فإننا في حاجة إلى قاعدة لتعريف علاقة سوف أطلق عليها أسم «أقل من» وأرمز إليها بالرمز «ق».

وعليه فإن العلاقتين «ت» و «ق» تم تعريفهما بإجراءات امبيريقية. فإذا وضعنا جسمين على كفتي ميزان دقيق ولاحظنا أن الميزان ظل ثابتاً على توازنه، قلنا ان العلاقة ت بين الجسمين، من جهة خاصية الثقل، مضبوطة.

ويتضح من ذلك أننا استخدمنا اجراءً اصطلاحياً كاملاً لتعريف ت، ق، ولكن هـ ليس هو بالأمر الذي يعنينا. فإذا لم تتزود حالات معينة بعلاقتين نقوم باختيارهما، اذن لما استطاعت هذه الحالات أن تفيد «ت» و «ق» بشكل ملائم، ولهذا السبب فإن هاتين العلاقتين لا يتم أختيارهما بشكل تحكمي، لأنهما تنطبقان على جميع الأجسام التي لها ثقل. وتمثل هذه المجموعة من الموضوعات نطاق مفاهيمنا المقارنة. فإذا انعقدت العلاقتين ت و ق لهذا النطاق، لكان من الممكن ترتيب جميع الموضوعات في هذا النطاق إلى نوع من البناء المتطابق Stratified Structure (أي المرتب طبقة فوق أخرى) والذي يسمى في بعض الأحيان «بالترتيب شبه المتسلسل». ويمكن شرح هذا بشكل أفضل عن طريق استخدام بعض مصطلحات منطق العلاقات. فالعلاقة ت على سبيل المثال ينبغي أن تكون متماثلة (فإذا انعقدت بين أي جسمين أ، ب، لانعقدت أيضاً بين ب، أ)، كما ينبغي أيضاً أن تكون متعدية (أي إذا انعقدت بين أ، ب وب، ج، لانعقدت أيضاً بين أ، ج). ويمكننا رسم هذا بيانياً باستخدام نقاط تمثل

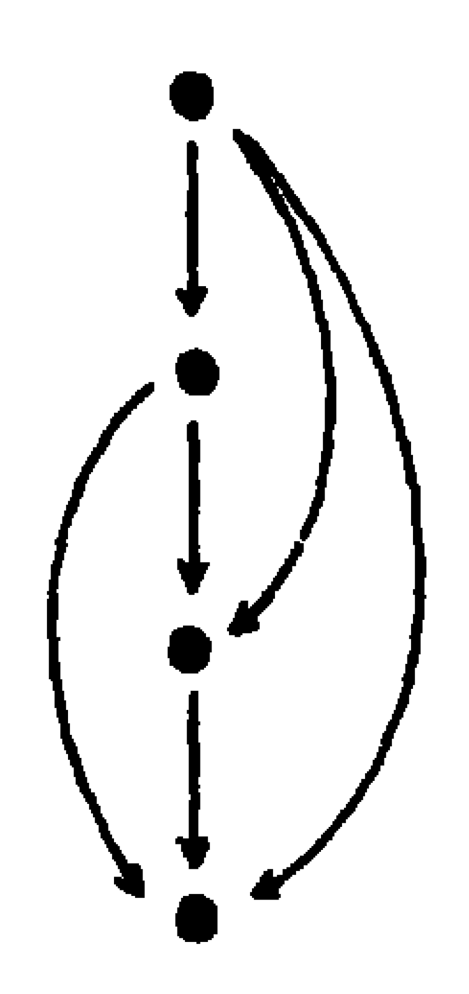


الأجسام، واقواس مزدوجة توضح علاقة المساواة .

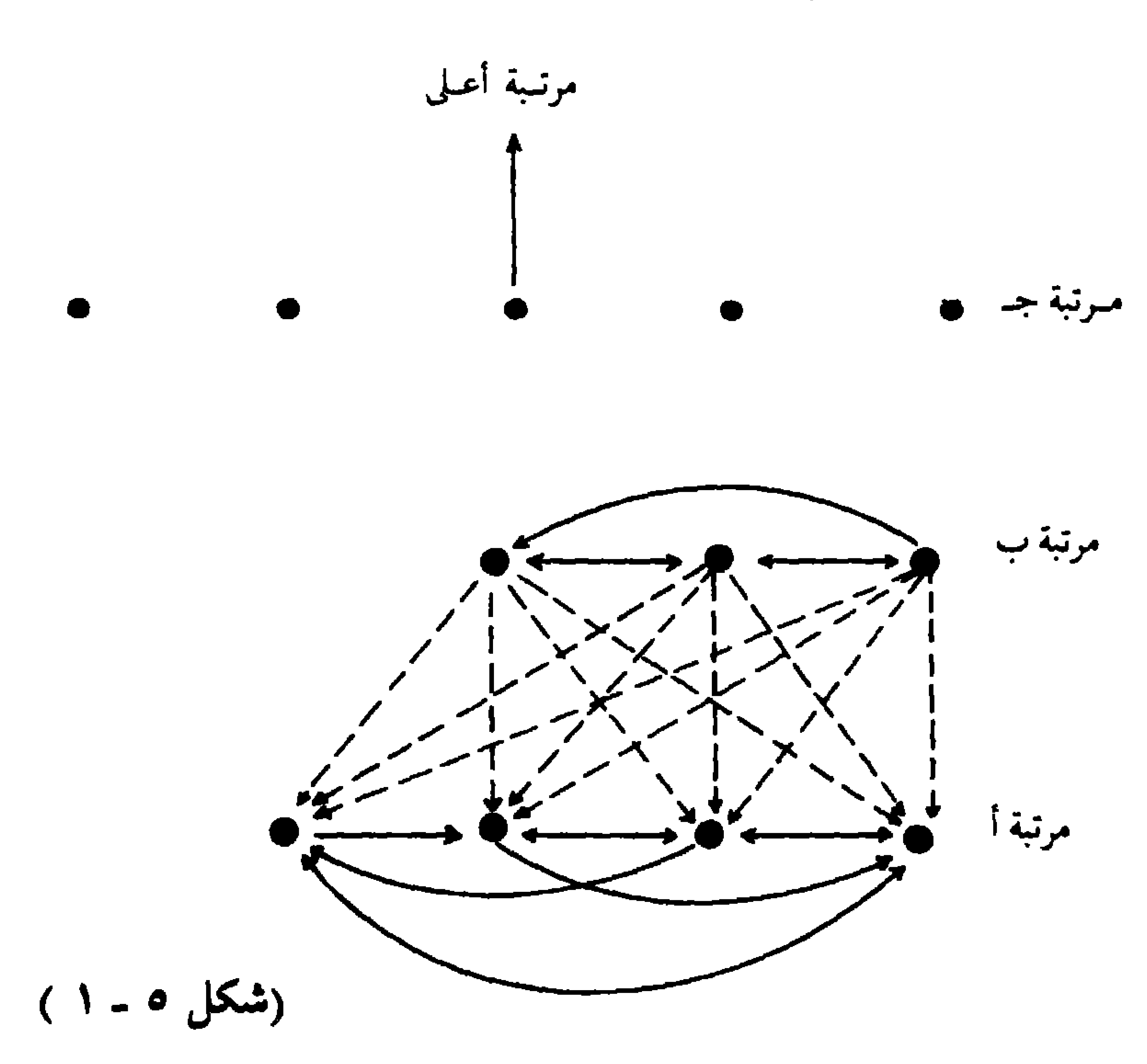
ويتضح من ذلك أنه إذا اخترنا لـ ت علاقة غير متماثلة، لما كانت مناسبة لأغراضنا. ولربما في هذه الحالة ان لموضوع نفس الثقل تماماً الذي للآخر، ولكن هذا الموضوع الآخر لم يكن له نفس ثقل الموضوع الأول. وبالطبع ليس هذا هو السبيل الذي نرمي اليه في استخدامنا للحد «نفس الثقل». إن توازن الميزان يعد علاقة متماثلة. فإذا توازن موضوعان، فإنهما سوف يستمران في التوازن حتى بعد أن نبدل موضعهما على كفتي الميزان. لذلك لا بد أن تكون ت علاقة متماثلة، وبالمثل نجد أنه إذا توازنت أ مع ب على الميزان. وتوازنت ب مع جـ اذن لتوازنت أ مع جـ، ومن ثم تصبح العلاقة ت متعدية أيضاً. وإذا كانت العلاقة متعدية ومتماثلة، فلا بد أن تكون «منعكسة» Reflexive. ذلك لأن أي موضوع لا بد أن يكون متساوياً في الثقل مع نفسه. وفي منطق العلاقات تسمى العلاقة المتماثلة والمتعدية بعلاقة «تكافؤ» equivalence. ويتضح من ذلك أن إختيارنا للعلاقة ت لم يكن تحكمياً، إذ ان أختيارنا وقع على ت باعتبارها متساوية في الوزن، لأن هذه العلاقة ـ كما لاحظنا ـ تعد علاقة تكافؤ .

أما العلاقة ق فلا تعد متماثلة، أنها لا متماثلة asymmetric لأنه إذا كانت أ أخف من ب، فلا يمكن أن تكون ب أخف من أ. ولكنها متعدية، لأنه إذا كانت أ أخف من ب، وب أخف من جـ اذن تكون أ أخف من جـ. هذا التعدي للعلاقة ق يشبه خواص العلاقة ت، وهو مألوف لنا لدرجة أننا نغفل عن اجراء اختبار امبيريقي لنتأكد من تطابقه مع مفهوم الثقل. فعندما نضع أ و ب على كفتي الميزان، ووجدنا أن الكفة التي بها أ تهبط، وعندما نضع ب و جـ على الكفتين، ووجدنا أن ب تهبط، فإننا نتوقع هبوط أ إذا ما وضعنا أ و جـ على الكفتين. أما إذا كنا في عالم مختلف عن عالمنا، حيث لا تجري قوانيننا الطبيعية مجراها، ربما وجدنا أن الكفة التي بها أ ترتفع، وإذا ما حدث هذا، فإننا لا يمكن أن نسمي العلاقة التي كنا بصدد اختبارها بأنها علاقة متعدية، وبالتالي فهي لا يمكن أن تكون صالحة لـ ق .

والآن نضع رسماً تخطيطياً للعلاقة ق، المتعدية واللا متماثلة، عن طريق أسهم منفردة من نقطة لأخرى .



فإذا صحت العلاقتان ت و ق بالنسبة لكل الموضوعات في هذا النطاق، اذن لأمكن ترتيب كل الموضوعات في نظام شبه متسلسل كما هو موسوم بيانياً في الشكل ٥ ـ ١ .



(شكل ٥ ـ ١)

في أكثر المستويات انخفاضاً، كما هو الحال في المرتبة أ، نحصل على كل الموضوعات المتساوية في الثقل، ولكنها تكون أخف من كل الموضوعات التي لا تدخل في تلك المرتبة. وربما يكون الموضوع واحداً فقط، أو ربما يكون آلافاً متعددة، يبين الشكل ٥ ـ ١ أربعة موضوعات فقط. أما في المرتبة ب، فإننا نحصل على مجموعة أخرى من الموضوعات ذات الثقل المتساوي، وكل منها مرتبط بالآخر عن طريق ت، وهي جميعاً أثقل من الموضوعات التي في المرتبة أ، وأخف

من كل الموضوعات التي لا توجد في أ أو ب. وتستمر هذه المراتب في الصعود حتى نصل أخيراً إلى مرتبة أكثر الموضوعات ثقلاً. وإذا لم تبين الاختبارات الامبيريقية وضع موضوعات النطاق في هذا الترتيب شبه المتسلسل، لما كانت العلاقتان ت، ق مناسبتين لتعريف المفاهيم المقارنة الخاصة بالثقل المتساوي والثقل الأقل.

وسوف نجد كل هذا مناقشاً بشكل أكثر تفصيلاً في الجزئين العاشر والحادي عشر من رسالة همبل «أصول مفهوم التكوين في العلوم الامبيريقية» «Fundamentals Of Concept Formation in Empirical Science» يذكر فيها أن هناك أربع حالات لا بد أن تتحقق لـ ت و ق:

١ ـ أن تكون ت علاقة تكافؤ.

٢ ـ أن يتم استبعاد ت عن ق. فلا يمكن لزوج من الموضوعات أن يتساويا في الثقل، وأن يكون أحدهما أخف من الآخر في نفس الوقت.

٣ ـ أن تكون ق متعدية.

٤ ـ أن تنعقد، بالنسبة لأي موضوعين أ، ب احدى الحالات الثلاثة التالية (ويكفي بالفعل أن نقول ان واحدة على الأقل تنعقد، ومن ثم يستتبع أن واحدة سوف تنعقد من الشروط الأخرى):

أ ـ أن تنعقد ت بين الموضوعين.

ب ـ أن تنعقد ق بين أ و ب.

جـ ـ أن تنعقد ق بين ب و أ.

وبكلمات أخرى، إذا كان للموضوعين أ و ب ثقل. فيهما اما أن يتساويا في الثقل أو يكون أخف ب، أو ب أخف من أ.

فإذا ما تحققت هذه المتطلبات الأربعة في أي علاقتين، لأمكننا القول انهما يؤلفان نظاماً شبه متسلسل، ويمكن رسم ذلك تخطيطياً بطريقة المراتب كما هو مبين في الشكل ٥ - ١. وبواسطة علاقة التكافؤ، نضف جميع الموضوعات إلى فئات تكافؤ، وعندئذ وبمساعدة العلاقة ق نضع هذه الفئات في ترتيب تسلسلي، وبهذه الوسيلة يتطور الرسم التخطيطي الكلي للمراتب المنتظمة. والنقطة التي أرغب في التأكيد عليها هنا، هي أن المفاهيم المقارنة ـ بصرف النظر عن مسألة ما إذا كانت تنطبق أو لا تنطبق تماماً على وقائع الطبيعة ـ محددة بواسطة البناء المنطقي للعلاقات.

والأمر ليس كذلك مع المفاهيم التصنيفية، ففي حالة تعريفنا لمفهوم الفئة، نستطيع أن نحدد أي شروط نفضلها، حتى ولو اشتملت على شروط متناقضة منطقياً، مثل الحديث عن موضوعات تزن ثلاثة أرطال، وتزن في نفس الوقت أقل من رطل، عندئذ نكون قد عرفنا فئة ليست عضواً في أي عالم ممكن. وإلى جانب هذا، نحن أحرار في أن نعرف فئة بأي طريقة مناسبة نرغب فيها، بقطع النظر عما إذا كانت لهذه الفئة أعضاء في عالمنا من عدمه. والمثال التقليدي لهذا هو مفهوم وحيد القرن(*) إننا نقوم بتعريفه على اعتبار أنه حيوان على شكل فرس ولكن له قرن مستقيم على جبهته. هذا التعريف جيد تماماً بمعنى أنه يضفي معنى للحد «وحيد القرن»، فهو يعرف فئة، ولا تفيد هذه الفئة عالم الحيوان لأنها تعد فئة فارغة بالمعنى الامبيريقي، لأن ليس لها أعضاء، ولكن هذه المسألة لا تدخل في اعتبار المنطقي.

أما فيما يختص بالمفاهيم المقارنة، فإن الموقف يختلف تماماً، إذ انها ـ وذلك على خلاف مفاهيم الفئة ـ تتضمن بناء معقداً من العلاقات المنطقية. فإذا قمنا بتقديمها فلا نستطيع أن نعارض أو نعدل من هذا البناء، بل لا بد من تحقق المتطلبات الأربعة التي قررها همبل، وهكذا نرى أن هناك وسيلتين بهما لا تكون المفاهيم المقارنة للعلم اصطلاحية بشكل كامل: أن تنطبق على وقائع الطبيعة، وأن تتوافق مع بناء منطقي للعلاقات.

ونصل الآن إلى «المفاهيم الكمية»، لكل مفهوم كمي، زوج متطابق من المفاهيم المقارنة، والتي في مجال تطور العلم، تخدم عادة باعتبارها خطوة أولى نحو الكمي. وفي الأمثلة التي سقناها، المفاهيم المقارنة للثقل الأقل والثقل المتساوي، أدت بنا ببساطة إلى مفهوم الثقل الذي يمكن قياسه والتعبير عنه بأعداد. وسوف نناقش طبيعة المفاهيم الكمية، لماذا هي مفيدة، وفي أي المجالات يمكن لها أن تنطبق، وهل هناك مجالات لا تنطبق عليها. وهذه النقطة الأخيرة ذات أهمية قصوى في مناهج العلم، ولهذا السبب سوف نتناولها بتفصيل عليها. ولكن قبل الخوض في مثل هذه المسائل، علينا أن نجري بعض ملاحظات أولية عامة سوف تتضح أكثر في سياق مناقشتنا، ولكن ينبغي أن نحددها الآن.

أولاً وقبل كل شيء، علينا أن نؤكد أن الاختلاف بين الكيفي والكمي ليس اختلافاً في الطبيعة، انما هو اختلاف في نسقنا المفهومي ـ في لغتنا، ويمكننا القول انه إذا كنا نعني باللغة نسقاً من المفاهيم ـ وأنا استخدم اللغة هنا كما يستخدمها المناطقة، وليس بمعنى وجود لغة انجليزية أو أخرى صينية ـ اذن لكان لدينا لغة للفيزياء، ولغة للانثروبولوجيا، ولغة للمجموعة النظرية،

(*) حيوان خرافي له جسم فرس وذيل أسد وقرن وحيد في وسط جبهته. (المترجم).

وهكذا وبهذا المعنى، تتألف لدينا لغة عن طريق قواعد لمفرداتها، وقواعد لبناء قضايا، وقواعد لاستنباطات منطقية من تلك القضايا، وقواعد أخرى. غير أن المفاهيم التي تظهر في اللغة العلمية هامة للغاية. اذن ما أود توضيحه هو أن الاختلاف بين الكيفي والكمي انما هو اختلاف بين لغتين.

وتنحصر اللغة الكيفية في المحمولات (كقولنا على سبيل المثال «العشب أخضر») بينما تدخل اللغة الكمية فيما يسمى بالرموز الدالة Functor Symbols وهي رموز لدالات لها قيم عددية. وهذا التحديد هام، لأن هناك اختلافاً كبيراً في وجهات النظر، وخاصة بين الفلاسفة فيما يختص بوجود نوعين من الصور في الطبيعة، الكيفية والكمية. إذ يؤكد بعض الفلاسفة على أن العلوم الحديثة تهمل المظاهر الكيفية للطبيعة، لأنها تحصر اهتمامها أكثر فأكثر نحو الصور الكمية، وهي بذلك تنقل صورة مشوهة تماماً عن العالم. على أن هذه الوجهة من النظر خاطئة تماماً ويتبين لنا خطؤها إذا قمنا بتقديم تمييز في المكان المناسب. فعندما ننظر إلى الطبيعة، لا يمكننا أن نسأل: «هل هذه الظواهر التى أراها الآن، ظواهر كيفية أم كمية؟» لأن هذا ليس بالسؤال الصحيح، أما إذا وصف شخص ما هذه الظواهر في حدود معينة، وقام بتصريف هذه الحدود، وقدم قواعد استخدامها، لأمكنه حينئذ أن يسأل: «هل هذه الحدود للغة كمية أم أنها للغة قبل - كمية a prequantitative، أي للغة كيفية؟» .

وثمة نقطة أخرى هامة، هي أن المواضعات(*) Convertions تلعب دوراً هاماً للغاية في المدخل إلى المفاهيم الكمية، ولا ينبغي علينا اغفال هذا الدور. ومن الناحية الأخرى، ينبغي علينا أيضاً أن نتوخى الحذر ولا نفرط في تقدير هذا الجانب المواضعي. صحيح أن هذا لا يحدث غالباً، ولكن هناك القليل من الفلاسفة الذين فعلوا هذا. فقد نادى هوجو دنجلر Hugo Dingler في المانيا على سبيل المثال بنظرة مواضعية كاملة، وهذا في رأيي خطأ فادح. فقد قال بأن جميع المفاهيم بل وقوانين العلوم إنما هي مسألة مواضعة، وهو في رأيي قد ذهب بعيداً جداً، ولقد أتهم بوانكاريه أيضاً بشايعة نظرية المواضعة Conventionalism بهذا المعنى الراديكالي، ولكنني أعتقد أن ذلك سؤ فهم لكتاباته. صحيح أنه شـدد، في الغالب، على الدور الهام الذي تلعبه المواضعات في العلم، ولكنه كان أيضاً على حذر من المركبات الامبيريقية التي يمكن أن تدخل في

(*) المواضعة اصطلاح استخدمه بوانكاريه للدلالة على أن مبادىء العلوم لا تعبر تعبيراً كاملاً عن الواقع، فهناك دائماً فاصل بين التصور العلمي للواقع والواقع نفسه، كما أن هناك دائماً قدراً من المواضعة أو البناء الاصطناعي في العلم. (المترجم) .

هذا المجال، فلقد تحقق من أننا لسنا دائماً أحراراً في عمل اختيارات تحكمية لبناء نسق للعلوم، وأننا ينبغي أن نكيف نسقنا طبقاً لوقائع الطبيعة كما نجدها. فالحقيقة تمدنا بعوامل في الموقف الذي هو خارج تحكمنا، وكان من الممكن أن نطلق على بوانكارية اسماً مواضعياً، فقط لو أنه كان فيلسوفاً، فلقد أكد معظم الفلاسفة السابقين، على الدور الكبير للمواضعة، ولكنه لم يكن مواضعياً راديكالياً.

وقبل أن نشرع في معالجة دور القياس في تطور المفاهيم الكمية، علينا أن نشير إلى أن هناك منهجاً كمياً أبسط، وأكثر أهمية، ألا وهو منهج العد method of counting . فإذا لم تكن لدينا أولاً القدرة على العد، لن نسطيع أن نقيس، والعد لا يشتمل على أكثر من أعداد صحيحة غير سالبة nonegative integers، وأقول «أعداد صحيحة غير سالبة» بدلاً من القول «أعداد صحيحة موجبة»، ذلك لأن الصفر يعد أيضاً نتيجة للعد، وذلك إذا ما تناولنا العد بمعناه الواسع. وليكن المعطى فئة متناهية a finite class ـ وليكن جميع المقاعد في هذه الغرفة نجد أن العد هو الوسيلة التي بها نحدد العدد الأصلي لهذه الفئة. اننا نعد المقاعد ـ واحد، اثنان، ثلاثة، وهكذا ـ حتى ننتهي عند العدد عشرين. افترض أننا رغبنا في احصاء عدد أجهزة البيانو التي بالغرفة، ونظرنا حولنا فلم نجد أي جهاز بيانو، نقول عندئذ ان العدد الأساسي هو الصفر، ويمكن أن نعتبره حالة منحلة a degenerate case للعدّ، ففي أيّة حالة يُعَدُّ الصفر عدداً صحيحاً، ويمكن أن ينطبق على فئة باعتباره عددها الرئيسي، وفي مثل هذه الحالات نطلق عليها عادة أسم الفئة الفارغة(*) null class. ونفس أجزاء العد يعطينا عدداً اساسياً لفئة متناهية من الحوادث المتتالية، فإننا نحصي عدد المرات التي نسمع فيها الرعد أثناء عاصفة، أو عدد دقات ساعة

(*) يرجع مفهوم الفئة الفارغة إلى الرياضي جورج بول (١٨١٥ ـ ١٨٦٤) الذي اسماها المجموعة الفارغة Null Set، وهي تلك المجموعة التي ليس لها عناصر أو أفراد، وهي تقابل الصفر، وتلعب نفس الدور الذي يؤديه في الحساب العادي، وتكافىء هذه المجموعة التناقض في المنطق. غير أن هذا المفهوم قد احتل مركزاً متميزاً عند الوضعية المنطقية نتيجة لتحليلات كل من فريجه وفتجنشتين له، وربطه بنظرية المعنى والدلالة. وهي تلك النظرية التي تذهب إلى أنه لكي نستطيع الحكم بأن عبارة أو قضية ما علمية، علينا أن نتحقق من أن لها دلالة حقيقية، أما إذا كانت غير علمية فإن دلالتها تكون فارغة أي غير حقيقية. فقد يكون لاسم ما معنى مثل أحادي القرن الذي ذكره كارناب، ولكن ليس له دلالة لأنه كائن خرافي لا وجود له في عالم الواقع، ومن ثم يصبح اسماً فارغاً،وينطبق هذا الأمر على الجملة أو القضية. فقد يكون لجملة أو قضية ما معنى ولكن ليس لها دلالة، كأن نقول مثلاً «وزير الكرة الأرضية» فهذه العبارة لها معنى عندنا ولكن ليس لها دلالة، لأنه لا يوجد وزير للكرة الأرضية وهكذا. وقد احتل هذا المفهوم مركزاً متميزاً عند الوضعية المنطقية كما ذكرنا، فقد تطور عند كارناب ليصبح محوراً لفلسفته، بل ان مهمة الفلسفة عنده أصبحت التحليل المنطقي للغة ذات المعنى والدلالة. (المترجم).

الحائط، وعلى الارجح فإن هذا النموذج من العد، كان أسبق تاريخياً من عد فئات الأشياء المتزامنة، مثل المقاعد في الغرفة. وفي الحقيقة هذه هي الوسيلة التي بها يتعلم الطفل العد، فهو يمشي في الغرفة ويلمس كل مقعد على حده بينما يردد العدد في كلمات، ان ما يحصيه بالفعل انما هو سلسلة من حوادث اللمس، فإذا سألته أن يحصي مجموعة من الاشجار على مسافة ما، فإنه يجد صعوبة في أن يفعل ذلك، لأنه من الصعب أن يشير إلى الاشجار واحدة تلو الأخرى ويجري تصوراً عن هذا الاجراء اللمسي. ولكنه إذا اعتنى بإحصاء حوادث التحويل وكنا متأكدين أنه يحدد كل شجرة مرة واحدة، حينئذ نقول أن هناك تساوياً في الشكل بين عدد الاشجار وعدد تحويل الحوادث. فإذا كان عدد هذه الحوادث ثمانية، فإننا ننسب نفس العدد إلى فئة الاشجار التي على هذه المسافة. ويمكن لطفل أكبر أو لبالغ أن يعد الاشجار دون تحويل، ولكن اذا لم يكن عدداً صغيراً مثل ثلاثة أو أربعة بحيث يمكن التعرف عليه من نظرة واحدة، فإنه يركز انتباهه أولاً على شجرة واحدة، ثم على أخرى، وهكذا، ولا زال الاجراء واحداً من عد الحوادث المتتالية، ذلك لأن العدد الأساسي الذي حصلنا عليه بهذه الوسيلة هو بالفعل العدد الأساسي للفئة التي يمكن أن تكون معروضة عن طريق برهان صوري، ولكننا لن نمضي إلى تفصيلاتها في هذا السياق، انما النقطة التي نشدد عليها هنا هي أنه في احصاء فئة من الموضوعات، فإننا نحصي بالفعل شيئاً ما آخر، سلاسل من الحوادث، ونضع حينئذ دليلاً على قاعدة الشكل (واحد ـ بواحد علاقة بين الحوادث والموضوعات) ويشتمل ذلك على العدد الأساسي للحوادث الذي هو العدد الأساسي للفئة.

وهكذا يجد المنطقي العديد من التعقيدات في مثل هذه الاشياء البسيطة! حتى العد وهو أبسط المناهج الكمية، عند التحليل يتحول ليس إلى مثل هذه البساطة التي تبدو منذ الوهلة الأولى، ولكن عندما نستطيع العد مرة واحدة، فإننا نستطيع أن نستمر في تطبيق أحكام القياس كما هو موضح في الفصل السادس.

الفصل السَادِس

القِياس وَالمفاهيم الكمِيَّة

إذا تم وصف وقائع الطبيعة بمفاهيم كمية ـ أي مفاهيم معبر عنها بقيم عددية ـ لكان علينا أن نقوم باجراءات للتوصل إلى تلك القيم، وأبسط الاجراءات، كما رأينا في الفصل السابق هي العد. وفي هذا الفصل سوف نفحص الاجراء الأكثر دقة للمقياس. إن العد يعطي القيم المعبر عنها فقط في اعداد صحيحة، أما المقياس فهو يمضي أبعد من ذلك، فهو لا يعطي فقط القيم التي يمكن التعبير عنها بأعداد مُنْطقة (الصحيحة أو الكسرية) وإنما ايضاً القيم التي يمكن التعبير عنها بأعداد غير منطقة. وهذا يجعل من الممكن أن نطبق الأدوات الرياضية القوية، مثل حساب التفاضل والتكامل. والحصيلة هي تزايد ضخم في كفاية المنهج.

والنقطة الأولىٰ الهامة التي ينبغي أن ندركها بوضوح، هي أنه لكي نضفي معنى محدوداً مثل «الطول» و «درجة الحرارة» ينبغي أن تكون لدينا قواعد لعملية المقياس. ولا تعد هذه القواعد شيئاً آخر أكثر من قواعد تدلنا كيف نشير إلى عدد معين أو جسم معين أو عملية، لذلك يمكننا القول ان هذا العدد يمثل قيمة مقدار ذلك الجسم. وكمثال عن كيفية اتمام ذلك، دعنا نتناول مفهوم درجة الحرارة مع اتباع خطة تتألف من خمس قواعد.

وسوف تذكر هذه القواعد الاجراء الذي عن طريقه يمكن قياس درجة الحرارة.

القاعدتان الأوليتان لهذه الخطة هما نفس القاعدتين اللتين سبق أن ناقشناهما في الفصل السابق باعتبارهما قاعدتين لتعريف المفاهيم المقارنة، ومع ذلك فإننا نتطلع اليهما الآن باعتبارهما قاعدتين لتعريف مفهوم الكم، بحيث نطلق على المقدار الرمزم.

تعين القاعدة ١، للمقدار م علاقة امبيريقية ق. وتقرر القاعدة أنه إذا انعقدت العلاقة ق

م بين الموضوعين أ، ب، فإن الموضوعين سيكون لهما قيم متساوية للمقدار م. وفي الشكل الرمزي:

إذا كانت ق م (أ، ب)، اذن م (أ) = م (ب)

وتعين القاعدة ٢، علاقة امبيريقية ل م. وهذه القاعدة تذكر أنه إذا انعقدت العلاقة ل م بين أ، ب فإن قيم المقدار م تكون اصغر بالنسبة لـ أ منها بالنسبة لـ ب، وفي الشكل الرمزي:

إذا كانت ل م (أ،ب)، اذن م (أ) < م (ب»

وقبل المضي إلى القواعد الثلاث الأخرى من خطتنا، دعنا نرى أولاً كيف كانت هاتان القاعدتان تطبقان على المفهوم المقارن قبل العلمي لدرجة الحرارة، وتطورت حينئذ إلى اجراءات كمية. تخيل أنك تعيش في عصر قبل اختراع الترمومترات. كيف تقرر أن موضوعين متساوياً الحرارة أو أن أحدهما أقل حرارة من الآخر؟ إننا نلمس كل موضوع بيدنا، فإذا لم نحس بأن لأحدهما حرارة أكثر من الآخر (العلاقة ق) لقلنا أنهما متساوياً الحرارة. وإذا كان أ يشعرنا بحرارة أقل من ب (العلاقة ل) قلنا ان أ أقل حرارة من ب. ولكن هذه مناهج ذاتية، غير دقيقة على الاطلاق، إذ عن طريقها، من الصعب أن نتوصل إلى اتفاق بين الملاحظين الآخرين. فقد يشعر شخص ما أن أ أكثر حرارة من ب، وقد يلمس آخر نفس الموضوعين ويعتقد أن العكس صحيح، وهكذا نجد أن ذكريات احساسات الحرارة تكون ملتبسة وغامضة، ذلك أنه ربما يكون من المستحيل بالنسبة للشخص أن يقرر ما إذا كان يشعر بموضوع أدفأ في وقت منه في آخر يسبقه بثلاث ساعات. ولمثل هذه الأسباب فإن المناهج الذاتية التي تستخدم لتأسيس علاقات «متساوي الدفء» (ق) «وأقل دفئاً» (ل) تستخدم قليلاً في البحث الامبيريقي للقوانين العامة. ما نحتاج اليه حقاً، هو المنهج الموضوعي لتحديد درجة الحرارة، فهو منهج أكثر دقة من احساسات الحرارة، وعادة ما يتفق الفرد فيه مع الأفراد الآخرين.

والترمومتر يمدنا تماماً بمثل هذا المنهج. افترض أننا نرغب في تحديد التغيرات التي تحدث في درجة حرارة ماء في اناء، فإننا نغمر زئبق الترمومتر في الماء، وعندما يسخن الماء، يتمدد الزئبق ويرتفع في الأنبوبة، وعندما تبرد الماء ينكمش الزئبق وينخفض. فإذا وضعت علامة على الأنبوبة لتشير الى ارتفاع الزئبق، فمن السهل ان ترى إذا ما كان الزئبق يرتفع فوق او تحت العلامة بحيث لا يحتمل ان يختلف حوله ملاحظين. فإذا لاحظت اليوم أن السائل فوق العلامة، فلن نجد أية صعوبة في تذكر انها كانت بالأمس تحت العلامة. ويمكنك أن تعلن بكل ثقة ان الترمومتر يسجل اليوم درجة حرارة أعلى من الأمس. ومن السهل أن نرى كيف يمكن تحديد العلاقتين ق ر بالنسبة للمقدار ح

(درجة الحرارة)، عن طريق هذه الأداة. إننا نضع ببساطة الترمومتر ملامساً للجسم أ، وننتظر حتى يتوقف أي تغير في ارتفاع السائل الخاضع للاختبار، ونضع حينئذ علامة تحدد مستوى السائل. ونضع الترمومتر بنفس الطريقة على الموضع ب. نجد أن العلاقة ق تتحدد بارتفاع السائل لنفس العلامة، وتثبت العلامة ل بين أ، ب إذا ارتفع السائل لأخفض نقطة، وذلك عندما يطبق الترمومتر على أ منه عندما يطبق على ب.

ويمكن التعبير عن القاعدتين الأوليين لتحديد درجة الحرارة ح رمزياً، على النحو التالي:

قاعدة ١ : إذا كانت ق ر (أ، ب)، اذن تكون ح (أ) = ح (ب)

قاعدة ٢ : إذا كانت ل ر (أ، ب)، اذن تكون ح (أ) < ح (ب).

لاحظ أنه ليس من الضروري، لكي نثبت العلاقتين ق، ل أن يكون لدينا مقياس للقيم المبنية على الأنبوبة. ومع ذلك إذا كان في نيتنا أن نستخدم الترمومتر لتعيين القيم العددية لـ ح، فمن الواضح أننا نحتاج الى أكثر من أنبوبتين.

وتزودنا القواعد الثلاث الباقية من خطتنا بشروط اضافية مطلوبة إذ تخبرنا القاعدة ٣ أنه عندما نعين قيمة عددية مختارة للمقدار الذي نسعى إلى قياسه، وعادة تكون صفراً، فإن ذلك يتم عن طريق تعيين شيء ممكن تقديره ببساطة Recognizable، وفي بعض الأحيان شيء ممكن تكراره أو اعادة انتاجه Reproducible بسهولة، أو حالة ويخبرنا أن نعين القيمة العددية المختارة لموضوع ما إذا كان في تلك الحالة. ففي مقياس الترمومتر المئوي مثلاً، تبين القاعدة ٣ قيمة الصفر للماء عندما تكون في حالة التجمد. وأخيراً سوف نضيف بعض الصلاحيات للشروط التي تقع تحت هذه القاعدة على أن تكون موافقة، وسوف نتقبلها الآن باعتبارها ركيزة أو قاعدة Stands .

قاعدة ٤ ، وتسمى عادة بقاعدة الوحدة Unit، وهي تعين القيمة المختارة الثانية لمقدار موضوع ما عن طريق تخصيص شيء آخر ممكن تقديره ببساطة، وحالة ذلك الموضوع الذي يمكن اعادة انتاجه بسهولة. وعادة ما تكون هذه القيمة واحداً (١) صحيحاً، وربما تكون أي عدد مختلف عن العدد المحدد بالقاعدة ٣، وتكون مائة (١٠٠) في المقياس السنتيمتري. وتشير إلى المياه في حالة الغليان. ومرة اخرى، القيمة الثانية المشار اليها تعد قاعدة أو أساساً A Basis لتحديد وحدات درجة الحرارة المتاحة. نضع الترمومتر في ماء متجمد، ونحدد ارتفاع الزئبق، ونضع له علامة الصفر، ثم نضع الترمومتر في ماء يغلي، ونحدد ارتفاع السائل، ونضع له علامة ١٠٠ . إننا لم نحصل بعد على المقياس، وإنما نحصل فقط على أساس لقراءة الوحدات، فإذا ارتفع الزئبق من علامة الصفر إلى علامة الـ ١٠٠ ، لأمكننا القول ان درجة الحرارة قد ارتفعت مائة

(١٠٠) درجة . وإذا كنا قد وضعنا علامة الرقم ١٠ لأعلى علامة بدلاً من الرقم ١٠٠ ، لقلنا ان درجة الحرارة قد ارتفعت عشر درجات .

والخطوة الأخيرة هي تحديد الشكل المحكم للقياس، ويتم هذا عن طريق القاعدة ٥، وهي أكثر القواعد الخمس أهمية، فهي تحدد الشروط الامبيريقية ق ت م، التى تمكننا من القول ان الاختلافين (ت) لقيم المقدار (م) متساويان. لاحظ أننا لا نتحدث عن قيمتين، وإنما عن اختلافين بين قيمتين. ونريد أن نحدد الشروط الامبيريقية التي تحتها نقول إن الاختلاف بين أي قيمتين للمقدارين بالنسبة لـ أ وبالنسبة لـ ب هما نفس الاختلاف بين المقدارين الآخرين، أي بالنسبة لـ جـ وبالنسبة لـ د وتأخذ القاعدة الخامسة الشكل الرمزي التالي:

إذا كانت ق ت م(أ،ب،جـ،د)، اذن تكون م(أ) - م(ب)= م(جـ) - م(د) .

وتخبرنا القاعدة أنه إذا كانت هناك شروط امبيريقية معينة مثلت بـ ق ت م في صيغة رمزية، وجعلناها لقيم المقدار الأربع، فإننا نقول ان الاختلاف بين القيمتين الأوليين هو نفسه الاختلاف بين القيمتين الأخريين.

وفي حالة درجة الحرارة تتعلق الشروط الامبيريقية بحجم المادة الخاضعة للاختبار، وأقصد المادة المستخدمة في الترمومتر، وهي في مثلنا الزئبق. ينبغي أن نرسم الترمومتر وفقاً لشروط معينة، و لذلك، عندما يكون الاختلاف بين أي حجمين للزئبق أ،ب مساوياً للاختلاف بين أي حجمين جـ،د فإنه سوف يعطي المقياس اختلافات متساوية في الترمومتر .

فإذا كان للترمومتر مقياس مئوي، فإن اجراء توفر شروط القاعدة ٥ سيكون بسيطاً، وينحصر الزئبق في بصيلة الترمومتر(*) في واحدة من نهاية الأنبوبة الرهيفة جداً، على أن رهافة الأنبوبة شيء غير أساسي، ولكن له قيمة عملية كبرى، لأنه يجعل من السهل أن نلاحظ التغيرات الضئيلة جداً في حجم الزئبق. وينبغي أن تصنع الأنبوبة الزجاجية بعناية بحيث قطرها الداخلي منتظماً. ونتيجة لذلك يمكن ملاحظة الزيادات المتساوية في حجم الزئبق باعتبارها مسافات متساوية بين العلامات بطول الأنبوبة. وإذا اشرنا إلى المسافة بين العلامات عندما يلامس الترمومتر الجسم أ والجسم ب، على اعتبار أن «د(أ،ب)» اذن لأمكن التعبير عن القاعدة ٥ رمزياً على النحو التالي:

إذا كانت د(أ،ب)= د(جـ،د)، اذن تكون ح(أ)- ح(ب)= ح(جـ) - ح(د) .

(*) أي مستودع الزئبق فيه. (المترجم).

ونطبق الآن القاعدتين ٣، ٤، بأن نضع الترمومتر في ماء متجمد، ونستخدم «الصفر» كعلامة لمستوى الزئبق في الأنبوبة، ثم نضع الترمومتر في ماء يغلي، ونعلم مستوى الزئبق بـ(١٠٠). وعلى أساس القاعدة ٥ يمكننا الآن تقسيم الأنبوبة الى مائة مسافة متساوية بين الصفر والمائة. ويمكن لهذه المسافات أن تستمر أسفل الصفر إلى النقطة التي يصل فيها الزئبق إلى التجمد. وكذلك يمكن أن تستمر أعلى الـ ١٠٠ إلى النقطة التي يصل فيها الزئبق إلى درجة الغليان أو التبخر. فإذا صمم عالمان فيزيائيان الترمومترات الخاصة بهما بهذه الطريقة، واتفقا على جميع الاجراءات المحددة بالقواعد الخمس، فإنهما سوف يتوصلان إلى نتائج متماثلة عندما يقيسان درجة حرارة نفس الموضوع، ونعبر عن هذه الموافقة بقولنا ان العالمين يستخدمان نفس مقياس درجة الحرارة. وان القواعد الخمس تحدد مقياساً واحداً للمقدار الذي يقومان بتطبيقه .

على أنه كيف أجمع العلماء على نموذج دقيق للمقياس لكي يستخدم في قياس مقدار ما؟ ربما كان اجماعهم مواضعياً إلى حد ما، وبصفة خاصة أن ذلك الاجماع يتضمن اختيار النقاط التي في القاعدتين ٣، ٤. غير أن وحدة الطول، وهي المتر، قد تحددت الآن باعتبارها الطول في الفضاء (الخالي من الهواء والمادة) Vacuum وهو ١,٦٥٦,٧٦٣١٨٣ من أطوال موجة نمط معين من اشعاع يصدر عن ذرة الكربتون ٨٦ Krypton(*). أما وحدة الكتلة أو الوزن، وهي الكيلوجرام فإنها تحسب على أساس النموذج الأصلي للكيلوجرام المحفوظ في باريس. أما فيما يختص بدرجة الحرارة على اعتبار انها تقاس بمقياس مئوي، وهو الصفر والمائة المشار اليهما، فهي ملائمة لتجمد وغليان الماء لعدة أسباب. ففي مقياس الفهرنهايت أو المقياس المسمى بمقياس كلفن Kelvin للحرارة المطلقة، يتم اختيار أنواع أخرى من المواد لنقطتي الصفر والمائة. وعلى أية حال، فإن المقاييس الثلاثة كلها تعتمد بشكل أساسي على نفس اجراءات القواعد الخمس، وهي لذلك ربما تعد أساسية لنفس أشكال القياس. إذ ان الترمومتر المخصص لقياس درجة حرارة الفهرنهايت، يصمم بنفس الطريقة التي يصمم بها الترمومتر المخصص لقياس الدرجة المئوية تماماً، إنهما يختلفان فقط في الطريقة التي تم التدرج على أساسها. ولهذا السبب، يسهل ترجمة القيم من مقياس لآخر .

فإذا تبنى عالمان اجراءات مختلفة تماماً لقواعدهما الخمس، فأقام عالم منهما علاقة متبادلة بين درجة الحرارة وتمدد الزئبق، والآخر بين تمدد قضيب من حديد أو تأثير الحرارة على اندفاع الكهرباء من خلال جهاز معين، حينئذ سوف يختلف مقياسهما تماماً من حيث الشكل. وربما يتفق

(*) الكربتون، عنصر غازي عديم اللون. (المترجم).

المقياسان بالطبع، وإلى حد بعيد مع القاعدتين ٣، ٤ في هذا الشأن. ولكن إذا اختار كل من العالمين درجات حرارة تجمد وغليان الماء باعتبارهما نقطتين يحددان وحداتها، حينئذ سوف يتفقان بالطبع عندما يقيسان درجة حرارة تجمد أو غليان المـاء. ولكن عندما يطبقان الترمومترات الخاصة بكل منهما على وعاء من ماء دافىء، لربما حصل كل منهما على نتائج مختلفة، وربما كانت طريقة التحويل من مقياس لآخر صعبة.

على أن القوانين التي تعتمد على شكلين مختلفين من المقياس، لا يمكن أن يكون لها نفس الصيغة، إذ ربما يؤدي مقياس إلى قوانين يمكن التعبير عنها بمعادلات بسيطة جداً، وربما يؤدي المقياس الآخر إلى قوانين تتطلب معادلات معقدة جداً. والنقطة الأخيرة هذه، هي التي تجعل اختبار اجراءات القواعد الخمس هامة إلى حد بعيد، على العكس من السمة الأكثر تحكماً للقاعدتين ٣، ٤. فالعالم يختار هذه الاجراءات، بقدر الامكان، بهدف تبسيط قوانين الفيزياء الأساسية.

وفي حالة درجة الحرارة، فهذا هو مقياس كلفن للحرارة المطلقة الـذي يؤدي إلى أقصى درجة من التبسيط في قوانين الديناميكا الحرارية. وربما يعتقد أن المقياس المئوي والفهرنهيتي يختلفان عن المقيـاس المطلق، والحقيقة أنهما يختلفان فقط في التدرج، ومن السهل تحويلهما إلى مقياس مطلق. أما في الترمومترات البدائية، فقد كانت تستخدم سوائل مثل الكحول والزئبق لاختبار المواد، وأيضاً الغازات التي تحفظ تحت ضغط ثابت، لتجعل التغيرات في درجة الحرارة تغير احجامها. ووجد أنه مهما كانت المواد المستخدمة، فإنها يمكن أن تقرر أشكال قياس متماثلة على وجه التقريب، ولكن عندما صنعت أدوات أكثر دقة، أمكن ملاحظة اختلافات طفيفة. ولا أعني بذلك مطلقاً أن المواد تتمدد بمعدلات مختلفة عندما تسخن، ولكن بالأحرى أن شكل المقياس نفسه يختلف إلى حد ما، اعتماداً على ما إذا كانت المادة المستخدمة هي زئبق أم هيدروجين.

وأخيراً، اختار العلماء المقياس المطلق على اعتبار أنه يؤدي إلى القوانين الأبسط. والحقيقة المدهشة هي أن شكل هذا المقياس لم يتحدد وفقاً لطبيعة مادة اختبار معينة، وإنما هو أقرب إلى مقياس الهيدروجين أو أي غاز آخر منه إلى مقياس الزئبق، ولكنه لا يتشابه تماماً مع أي مقياس للغاز. وفي بعض الأحيان يدور الكلام عنه بوصفه «غاز مثالياً»، ولكن هذه طريقة في الحديث فقط.

وفي الممارسة الفعلية، يستمر العلماء بالطبع في استخدام الترمومترات التي تحتوي على

الزئبق أو سوائل اختبار أخرى لها مقاييس تقترب من المقياس المطلق إلى أقصى درجة، وحينئذ يحولون درجات الحرارة المعتمدة على هذه المقاييس إلى مقياس مطلق، وذلك عن طريق تصحيح صيغ معينة. فالمقياس المطلق يسمح بصياغة قوانين الحرارة الديناميكية بأبسط وسيلة ممكنة، لأن قيمه تعبر عن كميات الطاقة أكثر من التعبير عن حجم تغيرات المواد المختلفة. أما القوانين المشتملة على درجة حرارة، فسوف تكون أكثر تعقيداً بكثير إذا استخدم أي مقياس آخر.

ومن الأهمية بمكان، أن نفهم أننا لا نستطيع أن ندعي بحق أننا نعرف ما نعنيه بوحدة أي مقدار كمي قمنا بصياغة قواعد لقياسه. وربما كان يعتقد أن العلم الأول يطور مفهوم الكمية، وحينئذ يبحث عن طرق قياسه. بيد أن مفهوم الكمية يتطور بالفعل خارج عملية القياس. ولم يكن من المستطاع اضفاء معنى محكم لمفهوم درجة الحرارة، حتى تم اختراع الترمومترات بالفعل. ولقد أكد اينشتين على هذه النقطة في المناقشات التي أدت إلى نظرية النسبية. فقد كان مهتماً بشكل أولي بقياس المكان والزمان. وأكد على أننا لا يمكننا أن نعرف بالضبط ما هو المعنى بمثل هذه المفاهيم مثل «مساواة الدوام» Equality of Duration أو «مساواة المسافة» (في المكان) أو «حدوث حادثين متباعدين في وقت واحد»، وهكذا، بدون تعيين الأجهزة والقواعد التي يمكن عن طريقها قياس مثل هذه المفاهيم.

ولقد رأينا في الفصل الخامس، أن ثمة مظاهر مواضعية ومظاهر غير مواضعية في تبني اجراءات للقواعد ١، ٢. وهناك موقف شبيه بهذا بخصوص القواعد ٣، ٤، ٥. هناك مدى معين للاختبار في الإقرار باجراءات لهذه القواعد، وإلى هذا الحد، تعد هذه الأحكام مسائل مواضعية، ولكنها ليست مواضعية تماماً، إذ أن المعرفة الفعلية ضرورية لكي نقرر أي أنواع المواضعات نختارها دون الوقوع في تعارض مع وقائع الطبيعة، وينبغي أن تكون البناءات المنطقية المختلفة مقبولة، لكي نتجنب عدم الاتساق المنطقي.

فقد تقرر مثلاً أن نأخذ الصفر نقطة لتجمد الماء في مقياس درجة حرارتنا، لأننا نعرف أن حجم الزئبق في الترمومتر الخاص بنا سوف يكون هو نفسه دائماً عندما نضع بصيلة الترمومتر في ماء متجمد. فإذا وجدنا أن الزئبق قد ارتفع إلى درجة واحد عندما استخدمنا الماء المتجمد الذي حصلنا عليه من فرنسا، وإلى ارتفاع مختلف عندما استخدمنا الماء الذي حصلنا عليه من الدانمارك، أو أن الارتفاع اختلف مع كمية الماء المتجمد، لما كان الماء اختياراً مناسباً لتطبيق القاعدة الثالثة.

كما أن هناك عنصراً امبيريقياً شبيهاً يدخل بوضوح في اختيارنا للماء المغلي ليحدد نقطة

المائة. انها واقعية الطبيعة، وليست موضوع مواضعة، ذلك أن درجة حرارة جميع المياه التي في حالة غليان، واحدة. (ونفترض أننا قد أسسنا بالفعل القاعدتين ١، ٢، ولذلك نحتفظ بوسيلة لقياس مساواة درجة الحرارة) ولكن ينبغي علينا هنا أن ندخل تعديلاً. إذ ان درجة حرارة الماء المغلي تكون واحدة في نفس الموقع، ولكن فوق جبل عال، حيث يكون ضغط الهواء أقل، فإن الماء يغلي عند درجة حرارة أقل قليلاً منها عند سطح الجبل.

ولكي تستخدم نقطة غليان الماء بحيث ترضي متطلبات القاعدة الرابعة، علينا اما أن نضيف استخدام الماء المغلي في ارتفاع معين، أو نطبق عامل تصحيح إذا لم يكن عند ذلك الارتفاع. وبحديث أكثر دقة، حتى عند هذا الارتفاع المحدد ينبغي أن نتأكد عن طريق مقياس الضغط الجوي (البارومتر) أننا نحصل على ضغط هواء معين، أو أن التصحيح يمكن أن ينطبق هناك أيضاً. إذ إن التصحيح يعتمد على حقائق امبيريقية، وليست مواضعية تدخل فيها العوامل بشكل تحكمي.

وعند ايجاد معايير امبيريقية لتطبيق القاعدة ٥ التي تحدد شكل مقياسنا، علينا أن نبحث عن شكل يعطي أبسط قوانين ممكنة. ومرة أخرى ندخل هنا مظهراً غير مواضعي في اختيار القاعدة، لأن وقائع الطبيعة تحدد القوانين التي نبحث عنها بغرض التبسيط.

وأخيراً فإن استخدام الأعداد كقيم لمقياسنا يتضمن بناء علاقات منطقيـة لا تكون مواضعية، لأننا لا نستطيع أن نتخلى دون الوقوع في شباك التناقضات المنطقية.

الفصل السَابع

المقَادير الممتَدة

يتطلب قياس درجة الحرارة، كما تعلمنا في الفصل السادس، خطة مكونة من خمس قواعد. فهل هناك مفاهيم في الفيزياء يمكن قياسها باستخدام خطط أبسط؟ نعم هناك عدد كبير من المقادير، تسمى «المقادير الممتدة» يمكن قياسها بمساعدة خطط القواعد الثلاث Three-rule Schemas .

وتنطبق خطط القواعد الثلاث على المواقف التي إذا اتحد فيها شيئان أو انضما معاً بطريقة ما، لأنتجا شيئاً جديداً بحيث تكون قيمة المقدار م لهذا الشيء الجديد تساوي مجموع قيم م بالنسبة للشيئين المنضمين. فالثقل مثلاً، مقدار ممتد. فإذا وضعنا جسماً يزن خمسة أرطال، وجسماً آخر يزن رطلين معاً، فإن وزن الجسمين المتحدين معاً سوف يكون سبعة أرطال. أما درجة الحرارة فإنها تختلف عن هذا المقدار، لأنه لا يمكن، عن طريق اجراء بسيط، أن نأخذ شيئاً ونقول ان درجة حرارته ستون درجة، ونضمه إلى شيء آخر درجة حرارته أربعين درجة، فنأتي بشيء جديد درجة حرارته مائة درجة .

على أن الاجراءات التي نتبعها لضم المقادير الممتدة تختلف بشدة من مقدار لآخر، ففي الحالات البسيطة يكون الاجراء مجرد وضع جسمين معاً، أو لصقهما معاً، أو ربما تركهما جنباً إلى جنب، مثل ثقلين على نفس كفة الميزان. والحياة اليومية مليئة بتلك الأمثلة، فسعة صف من الكتب على رف إنما هو مجموع سعة كل كتاب على حدة، كما أننا لو تناولنا كتاباً وقرأنا عشر صفحات منه، وفي نهاية اليوم قرأنا عشر صفحات أخرى لكان مجموع ما قرأناه عشرين صفحة. كما أننا لو اكتشفنا، بعد امتلاء جزء من حوض الاستحمام (البانيو)، أن الماء ساخن جداً، فأضفنا بعضاً من الماء البارد، لكان الحجم الكلي للماء في حوض الاستحمام هو مجموع كميات

الماء الساخن والبارد الذي اندفع من الصنابير. وغالباً لا يتم ذكر الاجراء الذي يتبع لضم أشياء خاصة بمقدار ممتد معين، بصراحة. وعدم ذكر هذا الاجراء يعد مخاطرة عملية، يمكن أن تؤدي إلى فوضى شديدة وسوء فهم، لأن هناك طرقاً عديدة لأشياء يمكن ضمها، ومن الضروري ألا نفترض أن طريقة الضم هذه مفهومة. ولذلك ينبغي أن يذكر الاجراء بصراحة، ويعرّف بوضوح. ولقد فعلنا هذا من قبل، فالمقدار يمكـن قياسه باستخدام خطة القاعدة الثالثة.

أما القاعدة الأولىٰ، فهي تقدم ما يسمى بمبدأ الإضافة أو «الإضافة» «Addivity» وينص هذا المبدأ على أنه عندما يؤلف شيء مضموم مركبين، فإن قيمة مقدار هذا الشيء تساوي المجموع الحسابي لقيم مقدار المركبين. وأي مقدار يخضع لهذه القاعدة يطلق عليه اسم «المقدار المضاف». والثقل مثال شبيه بهذا، فالعملية المصاحبة في تلك الحالة إنما هي ببساطة وضع الشيئين معاً ووزنهما باعتبارهما شيئاً واحداً. فإذا وضعنا الشيء أ على كفة ميزان ولاحظنا وزنه، ثم وضعناه مع الشيء ب ولاحظنا وزنه، ثم وضعنا الشيئين على كفة الميزان، فإن هذا الشيء الجديد ليس سوى أ، ب موضوعين معاً، وسوف يكون له وزن بالطبع يساوي المجموع الحسابي لأوزان أ و ب.

وإذا كانت هذه هي المرة الأولىٰ التي يطلع فيها القارىء على هذه القاعدة، فإنه ربما يعتقد أنها غريبة، وأن من التفاهة أن نذكر مثل هذه القاعدة. ولكن لمتطلبات التحليل المنطقي للمنهج العلمي، لابد أن نجعل كل شيء واضحاً، وأن نتناول كل الموضوعات التي يسلم بها رجل الشـارع، وكل ما علينا هو أن نضعها فقط في كلمات.

وبالطبع لا يمكن لأحد أن يعتقد أنه إذا وضع حجراً يزن خمسة أرطال على ميزان، بجانب حجر آخر يزن سبعة أرطال، أن الميزان سوف يسجل وزناً اجمالياً لهما مقداره سبعون رطلاً أو ثلاثة أرطال. إذ إننا نسلم جدلاً أن الوزن الناتج مقداره اثني عشر رطلاً. ومن المفهوم مع ذلك، أنه في عالم ما آخر غير عالمنا قد لا تسلك الاشياء بنفس الطريقة الموافقة لنمط الإضافة. ولذلك ينبغي علينا أن نجعل قاعدة الإضافة الخاصة بالثقل بسيطة، وذلك عن طريق إدخال هذه القاعدة الإضافية: إذا تجاور جسمان وتم وزنهما باعتبارهما شيئاً واحداً، فإن الوزن الكلي لهما يصبح مجموعاً حسابياً للأوزان المركبة.

كما ينبغي ادخال قواعد مماثلة لكل مقدار ممتد. فالطول الفراغي Spatial Length مثال آخر مماثل، فإذا كان لجسم حافة مستوية أ، ولجسم آخر حافة مستوية ب، ووضعنا الجسمين معاً، لامتدت الحافتان بترتيب في خط مستقيم واحد. هذا الكيان الفيزيائي الجديد ـ الخط

المستقيم المكون من اتحاد أ و ب ـ لابد أن يكون له طول، هذا الطول، إنما هو مجموع أطوال أ وب.

ولم تكن الصياغات المبكرة لقاعدة الإضافة الخاصة بالطول ـ في الغالب ـ مرضية. فعلى سبيل المثال، قال بعض المؤلفين إننا لو أضفنا طولين أ و ب، فإننا نحصل على طول جديد عن طريق إضافة الطول أ والطول ب. وهذه الطريقة ركيكة للغاية بالنسبة لصياغة قاعدة، إذ ان نفس الجملة تستخدم كلمة «يضيف» Add بطريقتين مختلفتين تماماً. فهي تستخدمها في الأولى بمعنى ضم Joining موضوعين فيزيائيين بوضعهما معاً بطريقة معينة، وفي الثانية تستخدمها بمعنى العملية الحسابية للاضافة. ومن الواضح أن هؤلاء المؤلفين لم يعرفوا أن المفهومين مختلفان، لأنهم عندما شرعوا في ترميز القاعدة، كتبوها بهذه الطريقة:

ل(أ + ب) = ل(أ) + ل(ب)

وخلافاً لهؤلاء، هناك بعض المؤلفين الذين أكنُّ لهم اعجاباً شديداً، كانوا يشعرون بالأسف الشديد من هذه الصياغة السمجة، وهي تلك الصياغة التي تستخدم الكلمة «يضيف» بمعنى الاضافة والضم وترمز لها بنفس الرمز مرتين. والحقيقة أن الرمز «+» الثاني (الذي على يسار المعادلة) يشير إلى عملية حسابية، أما الرمز «+» الأول (الذي على يمين المعادلة) فهو ليس بعملية حسابية على الاطلاق، إذ إنك لا تستطيع أن تضيف خطين حسابياً، ولكن ما تضيفه ليس الخطوط، وإنما هو أعداد تمثل أطوال الخطوط. ولقد شددت دائماً على أنه ينبغي التمييز بين الاضافة الحسابية ونوع الاضافة التي تنظم عملية ضم أو اتحاد فيزيائي. وهذا التمييز يساعدنا كثيراً إذا ما تابعنا همبل (الذي كتب كثيراً عن المقادير الممتدة) في ادخال رمز خاص، وبشكل مرض للغاية في ترميز قاعدة الاضافة بالنسبة إلى الطول:

ل(أ ٥ ب) = ل(أ) + ل(ب)

ويمكن صياغة الأطوال رياضياً على هذا النحو:

أ ب

ل (أ)   ل (ب)

ل (أ ٥ ب)   [وليس «ل (أ + ب)»]

وعلى الرغم من أنه في حالة الوزن، لايهم تماماً كيفية وضع جسمين معاً على الميزان، إلا

أن هذا يعد مهما للغاية في حالة الطول. افترض مثلاً أن جزئين من خط واحد كانا على هذا النحو:



انهما مرتبطان بطرفيهما، ولكنهما ليسا في خط مستقيم. ومن ثم لا تكون المسافة بين النقطتين أ وجـ هي مجموع أطوال أ وب. لذلك ينبغي أن نكون على حذر دائماً، وأن نحدد تماماً ما نعنيه بعملية الضم.

والآن يمكننا أن نرمز إلى المبدأ العام بالإضافة، بالنسبة لأي مقدار ممتدم بالطريقة التالية:

م (أ ٥ ب) = م (أ) + م (ب)

فالرمز «٥»، في هذا التقرير، يدل على إجراء معين لضم أ وب. ومن الأفضل أن نجعل هذا المبدأ هو القاعدة الثانية من قواعدنا الثلاث، من أن نجعله القاعدة الأولىٰ. إذ أن القاعدة الأولىٰ تعد أبسط من هذه، وهي الخاصة بقاعدة المساواة. وهي نفس القاعدة الأولىٰ من القواعد الخمس (قواعد الخطط الخمس) لقياس درجة الحرارة. فهي تحدد الاجراء الذي نعرّف عن طريقه مساواة المقدار. ففي حالة الثقل نقول أن للجسمين نفس الثقل، إذا وضعنا أحدهما على كفة ميزان، والآخر على الكفة الأخرى، وظلت الكفتان متوازنتين.

وتتطابق القاعدة الثالثة مع القاعدة الرابعة من القواعد الخمس، وهي الخاصة بدرجة الحرارة. فهي تحدد وحدة قيمة المقدار. وعادة يتم هذا عن طريق اختيار موضوع أو عملية طبيعية يمكن تكرارها بسهولة، وعندئذ يتم تعريف وحدة المقدار في حدود ذلك الموضوع أو العملية. وكنت قد ذكرت فيما سبق مثالين لهذا: المتر، الذي يعتمد على أطوال موجة نموذج معين من الضوء، والكيلوجرام الذي يعتمد على النموذج العالمي الأصلي في باريس. ويعد المتر والكيلوجرام وحدات القياس للطول والوزن في النظام المتري للمقاييس.

ولكي نلخص نهجنا الخاص بقياس أي مقدار ممتد، نذكر القواعد الثلاث الآتية:

١ ـ قاعدة المساواة.
٢ ـ قاعدة الإضافة.
٣ ـ قاعدة الوحدة.

ولأن هذا النسق يعد أبسط من نسق القواعد الخمس الذي ناقشناه فيما سبق، فلماذا لا

نستخدمه دائماً؟ الإجابة بالطبع هي أنه بالنسبة للعديد من المقادير، لا توجد عملية ضم يمكنها أن تمدنا بأساس أو قاعدة لمبدأ الإضافة. ولقد رأينا بالفعل أن درجة الحرارة ليست مقداراً مضافاً، كما أن حدة «شدة» الصوت، وصلابة الأجسام يعدان مثلين آخرين. فبالنسبة لهذه المقادير لا نستطيع أن نعثر على عملية ضم أو ربط. إذ انها مقادير غير ممتدة Nonextensive أو هي مقادير كثيفة Intensive ومع ذلك، هناك عدد كبير من مقادير الإضافة في الفيزياء، يمدنا النهج الثلاثي السابق على أساس مناسب لقياسها جميعاً .

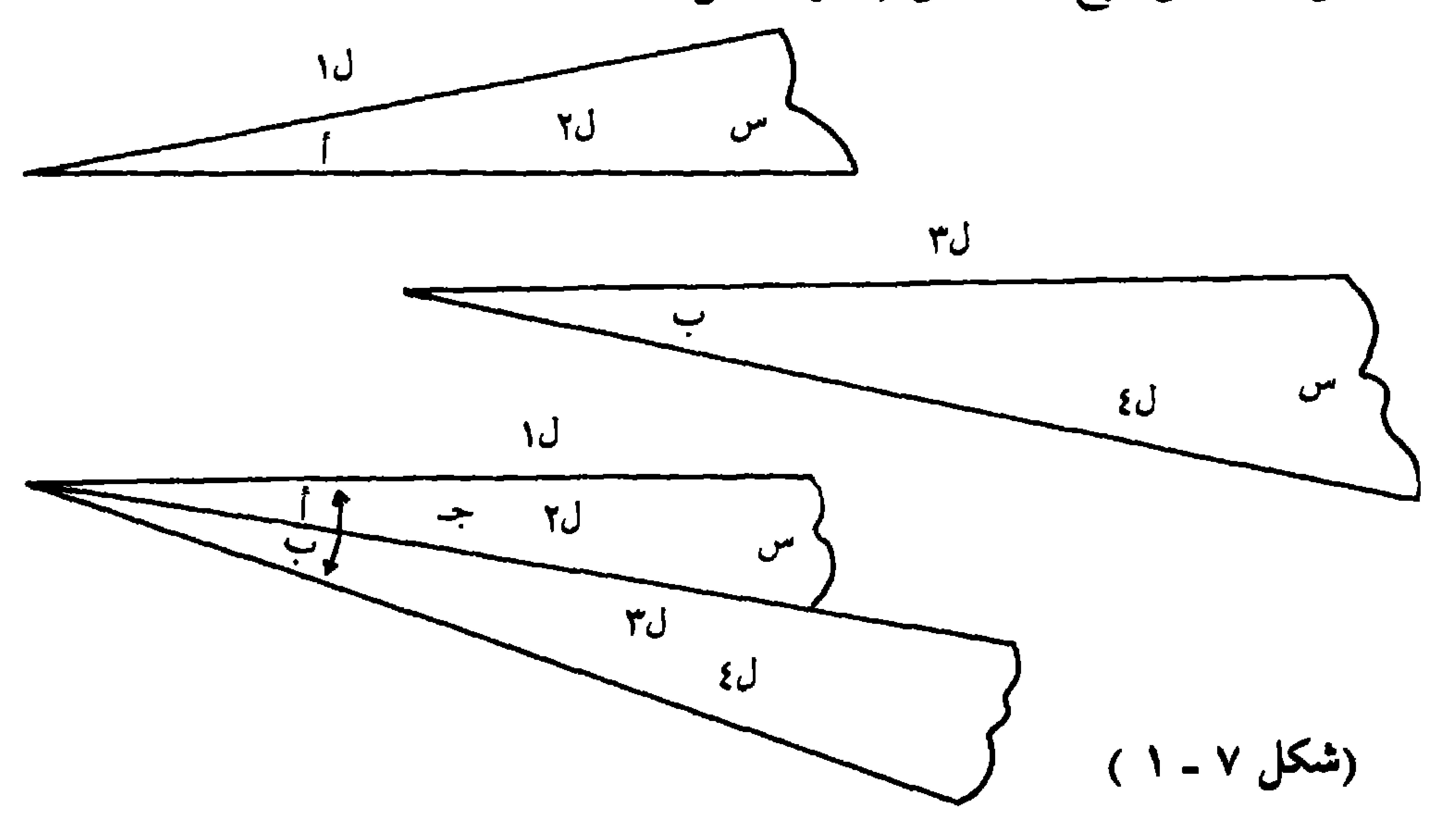
ويعتبر بعض العلماء وفلاسفة العلم أن المصطلحين «مقادير ممتدة» و«مقادير مضافة» مترادفان، ولكن هناك بعض المؤلفين الآخرين الذين يميزون بينهما. وإذا ما تناولنا مثل هذا التمييز، فإنه يبدو على هذا النحو: نسمي مقداراً ما ممتداً، إذا كنا نستطيع أن نفكر في عملية، تبدو طبيعية للضم، ولها ميزان يمكن اختراعه، واكتشفنا أنه بالنسبة إلى هذا الميزان الذي وقع عليه اختيارنا، والعملية المختارة، انعقد مبدأ الإضافة، إذن لقلنا انه مقدار مضاف، تماماً كقولنا أنه مقدار ممتد. ويمكننا في هذه الحالة أن نقول عنه انه مقدار مضاف ـ ممتد - an Additive Extensive أما إذا لم ينعقد مبدأ الإضافة اطلقنا عليه اسم المقدار اللامضاف ـ ممتد -an Nonaddi-tive - Extensive .

بيد أن معظم مقادير الفيزياء الممتدة مضافة، ولكن هناك بعض الاستثناءات. والمثال الشهير لذلك، هو السرعة النسبية في نظرية النسبية الخاصة. ففي الفيزياء الكلاسيكية، تعد السرعات النسبية على خط مستقيم مضافة بالمعنى التالي: إذا تحركت الأجسام أ، ب، جـ في خط مستقيم في نفس الاتجاه، وكانت سرعة ب بالنسبة إلى أ هي س١، وسرعة جـ بالنسبة الى ب هي س٢، إذن لكانت سرعة جـ بالنسبة إلى أ هي س٣ في الفيزياء الكلاسيكية، وكانت تؤخذ ببساطة باعتبارها مساوية لـ س١ + س٢. أيضاً إذا سرت الى الأمام نحو ممشى طائرة تطير في خط مستقيم نحو الغرب، فما هي سرعتك النسبية إلى الأرض غرباً؟ قبل اكتشاف نظرية النسبية، كان من الممكن الإجابة ببساطة على هذا السؤال عن طريق إضافة سرعة الطائرة الى سرعة سيرك الى الأمام داخل الطائرة. أما اليوم فإننا نعرف أن السرعات النسبية ليست مضافة، وإننا ينبغي أن نستخدم المعادلة الخاصة التي تكون فيها سرعة الضوء واحدة من المتغيرات. إذ عندما تكون السرعات صغيرة بالنسبة للضوء يمكن معالجتها باعتبارها مضافة. أما إذا كانت السرعات كبيرة الى حد بعيد، فإننا نستخدم جـ في المعادلة، باعتبارها سرعة الضوء:

$$س^{٣} = \frac{س^{١} + س^{٢}}{١ + \frac{س^{١} س^{٢}}{جـ^{٢}}}$$

تخيل مثلاً أن سفينة الفضاء ف^{١} تتحرك في مسار مستقيم، وتمر على الكوكب ك بسرعة نسبية س^{١}. وتسافر سفينة الفضاء ف^{٢}، في نفس الاتجاه وتمر على سفينة الفضاء ف^{١} بسرعة س^{٢} (بالنسبة إلى ف^{١}). فما هي السرعة النسبية س^{٣} لسفينة الفضـاء ف^{٢}، بالنسبة الى كوكب ك؟ إذا كانت السرعات س^{١} وس^{٢} لسفينتي الفضاء صغيرة، نضيف قيمة الكسر إلى الـ ١ أسفل الخط على يسار المعادلة، وفي هذه الحالة تكون ضئيلة جداً بحيث يمكن تجاهلها. وعندئذ نحصل على س^{٣} ببساطة بإضافة س^{١} وس^{٢}. أما إذا كانت سفينتا الفضاء تسافران بسرعات كبيرة جداً فلابد أن نضع في الاعتبار عامل سرعة الضوء جـ. وحينئذ تبتعد س^{٣}، وبشكل خطير، عن المجموع البسيط لـ س^{١} وس^{٢}. وإذا درست المعادلة جيداً سوف ترى كيف تقترب السرعات النسبية تقريباً من سرعة الضوء، وأن مجموع السرعتين لا يمكن أن يتجاوزا ابداً سرعة الضوء. ومن ثم نستنتج أن السرعة النسبية في نظرية النسبية الخاصة ممتدة (لأن عملية الضم يمكن أن تكون متعينة) ولكنها ليست مضافة .

وهناك أمثلة أخرى للمقادير الممتدة ـ غير المضافة وهي الدوال المساحية للزوايا Trigo-nometric functions of angels . افترض أن لديك زاوية أ المحصورة بين الخطين المستقيمين ل١ ول٢ من قطعة من لوح معدن س (أنظر الشكل ٧ ـ ١) .



(شكل ٧ ـ ١)

وقطعة أخرى من لوح معدن ص، زاويتها ب محصورة بين المستقيمين ل٣ ول ٤، وضممنا الزاويتين بوضعهما معاً على سطح منضدة بحيث يتطابق رأساهما، ويتطابق المستقيم ل٢ الخاص بـ س مع المستقيم ل٣ الخاص بـ ص. فمن الواضح أن الزاوية جـ المحصورة بين ل١ ول٤ هي نتيجة لضم الزوايتين أ و ب. وعلى ذلك يمكننا أن نقول انه عندما تضم زوايا بهذه الطريقة، ويتم قياسها بالوسيلة المعتادة، فإن قيمها تكون مضافة. ومن ثم تكون قيمة الزاوية جـ هي مجموع الزاويتين أ وبّ. ولكن قيمها لا تعد مضافة إذا أخذنا مقدارنا باعتباره واحداً من الدوال الخاصة بحساب المثلثات، مثل جيب كل زاوية على حدة. وإذا رغبنا في ذلك، يمكننا أن نطلق عليه اسم جيب المقدار الممتد (لأننا نكون قد أجرينا عملية ضم) وليست إضافة. ومن ناحية اخرى، ينبغي أن نقرر أننا لا نرغب في أن نطلق عليه اسم الجيب الممتد، لأن عملية الضم لا تضم الجيوب بالفعل، انها تضم الزوايا، ولكن هذا ليس هو نفس الأمر تماماً، بالنسبة لوضع الجيوب معاً. ومن وجهة النظر الثانية هذه، لا يعد الجيب ممتداً.

ومن ثم يصبح المعيار الذي افترضناه لتقريره ما إذا كان المقدار ممتداً من عدمه ـ وكما رأينا ـ ليس دقيقاً. وعليه فإذا استطعنا ـ وكما سبق لنا القول ـ أن نفكر في عملية تبدو لنا عملية طبيعية للضم بالنسبة للمقدار المتاح، فإننا نطلق عليها حينئذ العملية الممتدة. وربما يقول شخص ما انه بالنسبة له فإن عملية وضع زاويتين جنباً الى جنب إنما هي طريقة طبيعية تماماً لضم جيوب. وطبقاً لهذا الشخص فإن الـجيب مقدار ممتد وليس مضافاً. وربما يقول شخص آخر ان هذه العملية تصلح تماماً لضم زاويتين ولا تصلح لضم جيوب. وبالنسبة لذلك الشخص فإن الجيب ليس ممتداً. وبكلمات اخرى هناك حالات محددة نعرف فيها ما إذا كان المقدار ممتداً أم لا، أو بعبارة اخرى فإن هذا الأمر ليس موضوعاً ذاتياً. لأن الحالات التي تكون فيها المقادير ممتدة وغير مضافة نادراً ما تكون نسبية أو حتى موضع شك (وهي كذلك لأننا لسنا مرغمين على أن نقبل العملية المقترحة باعتبارها واحدة من الضم (الصحيح). ومن المفهوم تماماً انه يمكن للمؤلفين ان يستخدموا «ممتد» و«مضاف» باعتبارهما مصطلحين مترادفين. ولسنا بحاجة لانتقاد مثل هذا الاستخدام. فبالنسبة لهؤلاء المؤلفين ينطبق «الممتد» على المقدار فقط، وإذا كانت هناك عملية ضم بالنسبة له ينعقد مبدأ الإضافة، كما ينعقد للطول والوزن، والعديد من المقادير العامة للفيزياء.

والآن هناك بعض الملاحظات حول مقياس الفواصل الزمنية والأطوال الفراغية على الترتيب. لأن هذين المقدارين ـ بمعنى معين ـ يعتبران أساسيين في الفيزياء. إذ نستطيع أن

نقيسها مرة، وأن نعرفها مرات أخرى. وعلى الرغم من أننا لا نستطيع أن نعرفها بشكل قطعي، إلا أننا يمكننا أن نقدمها أخيراً عن طريق قواعد اجرائية تستخدم مفاهيم البعد في المكان أو الزمان.

وربما تستطيع أن تتذكر على سبيل المثال أننا في القواعد الخاصة بمقياس درجة الحرارة، استخدمنا مفهوم حجم الزئبق، وطول عمود الزئبق في الأنبوبة. وفي ذلك المثال افترضنا أننا عرفنا بالفعل كيف نقيس الطول. ومن أجل قياس العديد من المقادير الأخرى في الفيزياء، يتم استدلال مشابه لمقاييس الطول في المكان، والدوام في الزمان. وبهذا المعنى، ربما يلاحظ الطول والدوام باعتبارهما مقـادير أولية. وسوف نناقش في الفصل الثامن والتاسع الاجراءات التي عن طريقها يتم قياس الزمان والمكان.

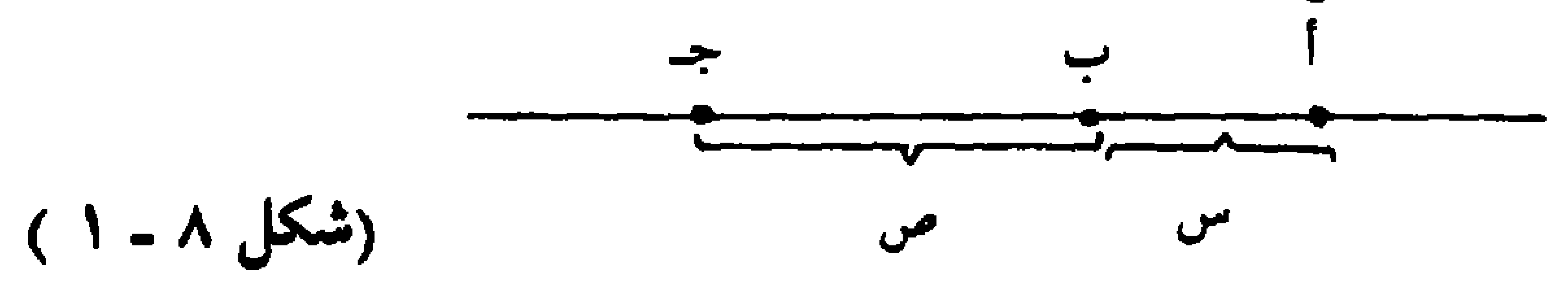
الفصل الثامن

الزمَان

ما نوع العملية المتصلة التي يمكن أن تستخدم لضم فواصل الزمان؟ سنواجه في الحال بصعوبة شديدة. لأننا لا يمكننا أن نعالج الفواصل الزمانية بنفس الطريقة التي نعالج بها المسافات المكانية. أو بعبارة أكثر تحديداً، تدل نهايات الأجسام الصلبة على فواصل مكانية، في حين لا توجد حدود قاطعة للزمان يمكن وضعها جنباً إلى جنب لتؤلف خطاً مستقيماً.

ولنفترض هذين الفاصلين: طول حرب معينة منذ أول طلقة نار وحتى آخر طلقة فيها، ودوام عاصفة رعدية معينة منذ أول قصفة رعد فيها وحتى آخرها. كيف يمكننا ضم هذين الدوامين؟ لا شك أن لدينا هنا حادثين متفرقين لكل منهما طول معين من الزمن، ولكن ليس ثمة وسيلة لاستحضارهما معاً. وبالطبع لو كان هذان الحادثين قد وقعا معاً في زمن سابق، لأمكننا أن نتعرف على تلك الحقيقة، ولكننا لا نستطيع أن نبدّل الحوادث من حولنا كما نبدّل نهايات الموضوعات الفيزيائية.

وأفضل شيء يمكن فعله هو أن نتمثل فاصلين زمنيين في مقياس تصوري. افترض أن لدي حادثاً س تحرك من النقطة الزمنية أ إلى النقطة الزمنية ب، وحادثاً آخر ص تحرك من النقطة الزمنية ب إلى النقطة الزمنية جـ (انظر الشكل ٨-١). ان النقطة الابتدائية للحادث ص هي نفس النقطة النهائية للحادث س، ولذلك فالحادثان متقاربان في الزمان. ولا يمكننا دفعهما إلى هذا الموضع ـ ذلك لأنهما حدثا بهذه الكيفية.



(شكل ٨ ـ ١)

ويمكن الآن ملاحظة طول الزمن من النقطة أ إلى النقطة جـ على اعتبار أنه ضم لـ س وص، وبالطبع لا يمكن ضم الأطوال هذه بالوسيلة الفيزيائية، ولكنا نفعل هذا بوسيلة تصورية، ذلك لأنه عن طريق هذه الوسيلة يمكننا أن ننظر إلى هذا الموقف. ويرمز إلى العملية التصورية بالرمز «٥»، حيث انه يسمح لنا أن نصوغ قاعدة الإضافة التالية لمقياس الطول الزمني ز:

ز (س ٥ ص) = ز (س) + ز (ص)

وبكلمات أخرى، لو حصلنا على حادثين، بحيث يبدأ الواحد منهما من حيث ينتهي الآخر، إذن لكان طول الحادث الكلي، هو الاختصار الحسابي لأطوال الحادثين. وبالطبع ليس هذا في قوة قاعدة الإضافة الخاصة بالأطوال الفراغية، لأننا لا نستطيع أن نطبقها إلا على حوادث تحدث متقاربة في الزمان، وليس على أية حوادث كيفما اتفق، وأخيراً، بعد أن طورنا القاعدة الثالثة لنسق قياس الزمن، سيكون في مقدورنا أن نقيس الأطوال المتجاورة لحوادث غير متقاربة. وعلينا الآن أن نبحث فقط عن عملية ضم تزودنا بأساس لقاعدة الاضافة. وهذه العملية نجدها في حدوث حوادث متقاربة في الزمان.

ولكي نكمل خطتنا، فإننا نحتاج إلى قاعدتين اضافيتين: قاعدة المساواة، وقاعدة أخرى تعرّف لنا الوحدة. وكل من هاتين القاعدتين يقومان على نموذج ما من عملية دورية: تأرجح البندول، دوران الأرض، وهكذا. إذ ان أية ساعة ما هي الا آلة تعمل طبقاً لعملية دورية، وهناك بعض الساعات التي تعمل ببندول، وأخرى تعمل بميزان الساعة (الرقاص). كما أن مزولة الشمس (الساعة الشمسية) تقيس الزمن بواسطة الحركة الدورية للشمس عبر السماء. ولقد وضع العلماء منذ آلاف السنين، وحداتهم للزمن على أساس طول اليوم، وتقوم هذه الوحدات على الدوران الدوري للأرض. والأن معدل دوران الأرض يتغير بشكل طفيف، توصل العلماء في عام ١٩٥٦ إلى اتفاق عالمي لحساب وحدات الزمن على أساس حركة الأرض حول الشمس في عام واحد معين. وعرّفت الثانية طبقاً لذلك بأنها ١/ ٣١,٥٥٦, ٩٢٥٠ ٩٧٤٧٠ من العام ١٩٠٠. وفي عام ١٩٦٤ تخلوا عن هذا النظام، ووجدوا أن النظام الأكثر احكاماً، والذي يمكن الحصول عليه، هو حساب الثانية على أساس معدل الاهتزاز الدوري للسيزيوم الذري(*). إن هذا المفهوم للدورية Periodicity ضروري جداً لتعريف وحدات الزمن، ولابد أن يكون مفهوماً بشكل كامل، قبل أن نضع في اعتبارنا كيف يمكن لنا أن نؤسس قاعدة التساوي، وقاعدة الوحدة عليها.

(*) السيزيوم Cesium هو العنصر الفلزي (المترجم).

وينبغي أن نميز أولاً، وبضوح بين معنيين «للدورية»، احدهما ضعيف، والآخر قوي. بالمعنى الضعيف، العملية تكون دورية ببساطة، لو أنها تحدث المرة تلو الأخرى. مثل نبضات القلب، وتأرجح البندول. ولكن بالمعنى الضعيف ايضاً خروج السيد سميث من منزله. فهو يحدث مراراً وتكراراً. بل مئات المرات طوال حياة السيد سميث. ويتضح أن الدوري بمعناه الضعيف إنما هو لكونه متكرراً. وفي بعض الأحيان يعني الدوري أن هناك دائرة كلية لأشكال مختلفة تتكرر بنفس الانتظام الدائري. إذ ان البندول يتأرجح على سبيل المثال، من أخفض نقطة له إلى أعلاها على اليمين، ثم يعود مرة أخرى إلى أخفض النقطة ذاتها مرتفعا إلى أعلاها على اليسار، ثم يعود مرة أخرى إلى أخفض النقطة ذاتها، وهكذا. اذن تكرار حركة البندول تتم في دائرة كاملة، وليس نتيجة لحادثة واحدة. وإنما نتيجة لتكرار عدة حوادث. ومع ذلك، لا يكون هذا ضرورياً لكي نسمي عملية ما أنها دورية. إذ يكفي أن مظهراً واحداً من العملية يستمر في التكرار، وحينئذٍ تكون مثل هذه العملية، دورية بالمعنى الضعيف.

وفي أحيان كثيرة، عندما يقول شخص ما ان العملية دورية، فهو يعني بها أنها أكثر قوة، وذلك لأنها بالإضافة إلى كونها دورية بشكل ضعيف، فمن الصحيح أيضاً أن الفواصل بين الحوادث المتعاقبة، لشكل معين تكون متساوية. وفيما يختص برحيل السيد سميث من منزله، لم يتحقق هذا الشرط بوضوح. إذ ربما يظل في منزله عدة ساعات، في بعض الأيام، وفي أيام أخرى، ربما يغادر المنزل عدة مرات خلال ساعة واحدة. وعلى العكس من ذلك، تعتبر حركات تأرجح البندول في ساعة دقيقة الصنع، دورية بالمعنى القوي. إذن هناك اختلاف كبير وواضح بين نموذجي الدورية.

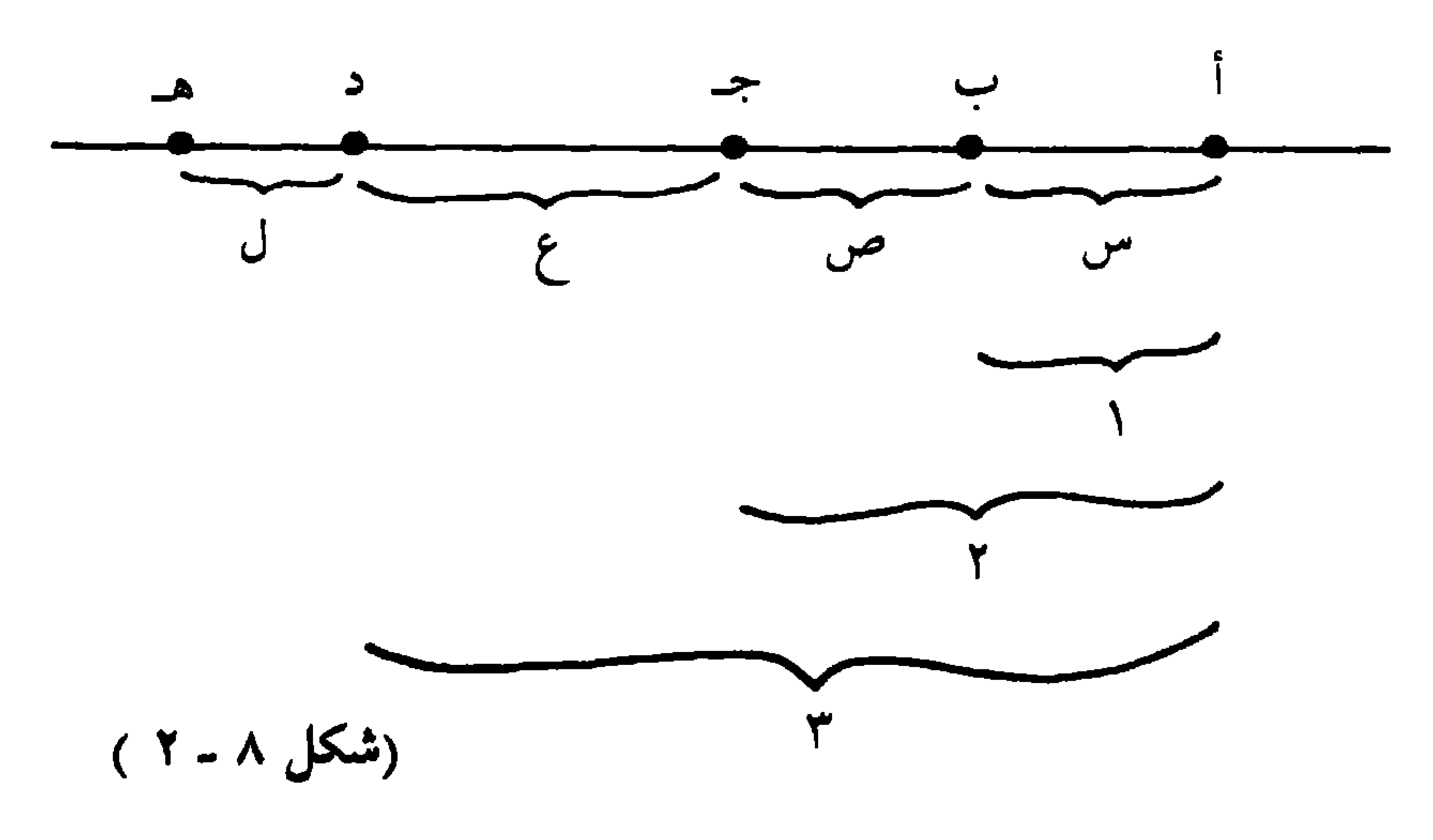
فأي نموذج للدورية ينبغي علينا أن نأخذ به كقاعدة لقياس الزمن؟ لا شك أننا نميل إلى الإجابة بأننا ينبغي أن نختار عملية يكون فيها الدوري بالمعنى القوي. إذ لا يمكننا أن نؤسس مقياساً للزمن على مغادرة السيد سميث لمنزله، لأن هذا غير منتظم على الاطلاق. كما أننا لا يمكننا أن نؤسسه على النبض، لأنه على الرغم من أن النبض أكثر ارتباطاً بالدورية من رحيل السيد سميث، إلا أنه يظل غير منتظم بشكل كاف. فلو كان شخص ما يجري بسرعة أو اصابته حمى عالية لكان نبضه أسرع من الطبيعي. إذن ما نحتاجه هو عملية دورية بأقوى معنى ممكن.

ولكن هناك شيئاً ما خطأ في هذه المسألة. وهو أننا لا نستطيع أن نعرف أن العملية دورية بالمعنى القوي، دون ان يكون لدينا بالفعل طريقة أو منهج لتحديد فواصل متساوية للزمان! وهذه الطريقة شبيهة تماماً بما نحاول أن نؤسسه بقواعدنا. اذن كيف يمكننا التخلص من هذا الدور؟ لا يمكننا أن نتخلص منه إلا بالاستغناء تماماً عن متطلب الدورية بالمعنى القوي. ونحن

مضطرون إلى هذا الاستبعاد، لأننا لم نتوصل بعد إلى قاعدة للتعرف على الدورية بالمعنى القوي. وهذا الموقف يشبه تماماً موقف الفيزيائي الساذج الذي يقترب من مشكلة قياس الزمن دون أن تكون لديه حتى ميزة التصورات قبل العلمية لفواصل الزمن المتساوية. وبدون أية قاعدة مهما كانت، نراه يبحث عن عملية دورية تكون خاضعة للملاحظة في الطبيعة، هذه الطبيعة التي يعول عليها في ايجاد مثل هذه القاعدة. ولأنه يفتقر إلى وسيلة يقيس بها فواصل الزمن، نجد أن ليس لديه وسيلة لاكتشاف ما إذا كانت هذه العملية المعينة دورية بالمعنى القوي أم لا.

والحقيقة أن ما ينبغي علينا عمله في المحل الأول، هو أن نتوصل الى عملية دورية بالمعنى الضعيف (وربما تكون هذه العملية بالمعنى القوي، كما يمكن أن يكون شيئاً لا يمكننا التعرف عليه بعد). وعندئذ نستخدم هذه العملية باعتبارها اجراء لضم فاصلين متتاليين من الزمن، بمعنى أن الواحد منهما يبدأ، عندما ينتهي الآخر تماماً، ثم نثبت بعد ذلك، طبقاً لقاعدة الإضافة، أن طول الفاصل الكلي انما هو اختصار رياضي لأطوال فاصلين مركَبين. ومن ثم نستطيع ان نطبق هذه القاعدة على أيه عملية دورية مختارة.

ولكي نستكمل رسمنا التخطيطي، علينا أن نتوصل إلى قاعدة للمساواة وأخرى للوحدة. ودوام أي واحدة من فترات العملية المختارة، يمكن استخدامه باعتباره وحدتنا للزمن. وهذه الفترات مرسومة في الشكل ٨ ـ ٢، وهي تمثل الأطوال س، ص، ع، ل. . . بين نقاط الزمن أ، ب، جـ، د، هـ. . . بحيث يكون لكل جزء من هذه الأجزاء، طول لوحدة واحدة.



(شكل ٨ ـ ٢)

ويمكن لشخص ما أن يعترض: «ولكن الفترة ص أطول كثيراً من الفترة س» ونرد عليه بقولنا: «اننا لا نعرف ما تعنيه بكلمة اطول». إذ اننا نحاول الآن وضع قواعد لمقياس الزمن،

وبعد ذلك سوف نتمكن من اعطاء معنى لكلمة «أطول» .

والآن، نجحنا في تعيين وحدتنا (وهي ببساطة طول كل فترة من العملية المختارة)، غير أن قاعدة الإضافة تمدنا بأساس لقياس أطوال الزمن. وتخبرنا هذه القاعدة بأن الفاصل الزمني من النقطة أ إلى النقطة جـ هو ٢، ومن النقطة أ إلى النقطة د هو ٣، وهكذا. ونستطيع الآن أن نقيس أي فاصل للزمن، حتى على الرغم من أننا أسسنا اجراءنا على عملية دورية ضعيفة، وذلك بأن نحسب ببساطة عدد المرات التي تحدث فيها وحدة الفترة، في ذات الوقت الذي يحدث فيه الحادث الذي نرغب في قياسه. وسوف يكون هذا العدد هو طول الحادث. أما قاعدة المساواة فهي واضحة. انها تذكر ان الفاصلين الزمنيين (اللذين ربما يكونان منفصلين بفترات زمنية واسعة) يتساويان إذا كان كل منهما يحتوي على نفس عدد الفترات الابتدائية للعملية الدورية. وهذا يكمل القاعدة الثالثة في الخطة، لأننا نكون بذلك قد حصلنا على قاعدة للمساواة، وقاعدة للإضافة، وقاعدة للوحدة. وعلى أساس هذه الخطة نتوصل إلى منهج لقياس الزمن .

وربما تكون هناك اعتراضات. هل يمكن حقاً لمثل هذه الخطة أن تكون أساساً لأية عملية دورية ضعيفة؟ أي هل يمكن مثلاً أن تكون أساساً لرحيل السيد سميث من منزله؟

الرد المدهش على ذلك هو، نعم. أقول هذا على الرغم من أن هناك قوانين في الفيزياء ـ وسوف أتناول هذا بالشرح بعد لحظة ـ ابسط كثيراً، بحيث تمكننا من أن نختار عمليات اخرى معينة. غير أن النقطة الهامة التي ينبغي علينا أن نفهمها هنا، هي أننا إذا حصلنا، ولو لمرة واحدة، على خطة تعد أساساً لقياس الزمن ـ حتى على الرغم من أنها قد تقوم على عملية غير منتظمة، كما هو الحال في رحيل السيد سميث من منزله ـ فإننا بذلك نكون قد اكتسبنا وسائل لتحديد ما إذا كانت هذه العملية الدورية مناسبة لعملية اخرى أم لا .

افترض أننا تبنينا العملية الدورية م. من اجل قاعدة مقياس الزمن، ونريد الآن مقارنة م بعملية دورية أخرى، ولتكن ن، حتى نرى ما إذا كانت م مكافئة أم لا. افترض مثلاً أن م هي تأرجح لبندول قصير ما، وأننا نرغب في مقارنتها بـ ن التي هي تأرجح لبندول أطول. من وجهة النظر العملية لا يمكن أن تكون فترات البندولين متساوية. إذن كيف نقارن بين الاثنين؟ اننا في الحقيقة نقارن بينهما عن طريق حساب تأرجحات البندولين أثناء فاصل زمني أطول. وقد نكتشف ان عشرة تأرجحات من البندول القصير يوافق ستة تأرجحات من الطويل. ويحدث هذا في كل مرة نعيد فيها الاختبار. وحيث اننا لم نتعامل بعد مع أجزاء من الفترات، لذلك ينبغي أن تكون مقارنتنا في حدود الأعداد الصحيحة من التأرجحات. ومع ذلك قد نلاحظ أن التزامن فيها ليس

دقيقاً. إذ بعد عشرة تأرجحات للبندول القصير، يكون الطويل قد بدأ في تأرجحه السابع. وفي هذه الحالة علينا أن نكرر المقارنة بأن نأخذ فاصلاً زمنياً أطول، مثل مائة فترة للبندول القصير. ونكتشف أن زمن الاختبار كله يتكرر، وأنه أثناء هذا الفاصل، كان للبندول الطويل اثنتان وستون فترة. وبهذه الطريقة نتمكن من ضبط المقارنة إلى أقصى درجة نتمناها. وإذا وجدنا أن عدداً معيناً من فترات العملية م متكافىء دائماً مع عدد معين من فترات العملية ن، نقول أن الفترتين الدوريتين متكافئتان.

وهذه حقيقة من حقائق الطبيعة، أن تكون هناك فئة واسعة جداً من العمليات الدورية التي تتكافأ كل منها مع الأخرى بهذا المعنى. ولا يمكن معرفتها قبلياً. فهي تكتشف عن طريق ملاحظة العالم، ولا يمكننا القول ان هذه العمليات المتكافئة دورية بشكل قوي، ولكن يمكننا أن نقارن أي اثنتين منها، ونتبين أنهما متكافئتان. وتنتمي كل البندولات المتأرجحة إلى هذه الفئة، وكذلك حركات موازين الساعة في المنبهات وساعات اليد، والحركة الظاهرية للشمس عبر السماء، وهكذا. إذن نجد في الطبيعة فئة ضخمة من هذه العمليات التي اذا قارنا أي عمليتين منها بالطريقة التي شرحناها في الفقرة السابقة، لبرهنا على أنهما متكافئتان. وعلى قدر علمنا توجد فئة واسعة واحدة فقط من هـذا النوع.

فماذا يحدث لو قررنا أن نقيم مقياسنا للزمن على عملية دورية لا تنتمي إلى هذه الفئة الواسعة من العمليات المتكافئة، كنبضات القلب مثلاً؟ لابد أن تكون النتيجة غريبة بعض الشيء. ولكننا نريد أن نشدد على أن اختيار نبضات القلب لمقيـاس الزمن لن يؤدي إلى أي تناقض منطقي. إذ ليس هناك معنى أن نزعم أن مقياس الزمن على مثل هذا الأساس، إنما هو «باطل».

تخيل مثلاً أننا نعيش في عصر مبكر جداً من تطور مفاهيم القياس، بالطبع لن تكون لدينا أداة لقياس الزمن، مثل ساعة اليد، وبالتالي لن تكون لدينا وسيلة لتحديد كيفية اختلاف نبضات القلب تحت ظروف فسيولوجية مختلفة. اننا نبحث، منذ الوهلة الأولىٰ عن أحكام عملية لتطور مقياس الزمن، ونقرر استخدام نبضات قلبي كأساس للقياس.

وحالما نقارن نبضات قلبي بعمليات دورية أخرى في الطبيعة، نجد أن كـل أنواع العمليات التي اعتقدنا أنها مطردة، أصبحت خلاف ذلك. ونكتشف على سبيل المثال انني عندما اكون في حالة جيدة، فإن الشمس تعبر السماء خلال عدد معين من نبضات القلب في زمن معين، وانني عندما أصاب بحمى في أيام اخرى، فإن عبور الشمس يستغرق عدداً أكبر بكثير.

وعلى الرغم من أن هذا يبدو غريباً، الا أنه ليس ثمة تناقض منطقي في وصفنا للعالم الكامل Entire World على هذا الأساس. إذ لا يمكننا ان نقول أن البندول اختيار «صادق»، وان نبضات قلبي اختيار «كاذب»، كأساس لوحدة الزمن. لأن الصدق أو الكذب لا يدخلان هنا، نظراً لعدم وجود تناقض منطقي في أي حالة من هاتين الحالتين، ولكنه فقط اختيار بين وصف بسيط للعالم، ووصف معقد(*) .

فإذا أقمنا الزمن على نبضي، نقول ان كل أنواع العمليات الدورية في الطبيعة لها فواصل زمنية متغيرة تعتمد على ما أفعله أو ما أشعر به. فإذا عدوت فترة من الوقت ثم توقفت عن العدو، وقمت بعمل قياس لهاتين العمليتين الطبيعيتين بوسائل نبضي، لوجدت أنه في لحظة عدوي، وبعدها بوقت قصير، فإن الحوادث في العالم تبطىء. وبعدها بثوان قليلة تعود الى طبيعتها الأولىٰ مرة أخرى. وأرجو أن تتذكر أننا نفترض أنفسنا نحيا في عصر لم نتعرف فيه بعد على أية معرفة بقوانين الطبيعة. فليست لدينا ثمة مراجع في الفيزياء تخبرنا أن هذه العملية أو تلك مطردة. وأنه في نظامنا الابتدائي للفيزياء، فإن دوران الأرض حول محورها، وتأرجح البندولات وهكذا، تعد أشياء غير منتظمة بدقة، إذ ان لها سرعة معينة عندما أكون في حالة جيدة، وأخرى عندما أكون مصاباً بحمى .

وهكذا فإن اختيارنا الأصلي الذي نعمل طبقاً له هنا، ليس اختياراً بين اجراء قياس صحيح وآخر خاطىء، ولكنه اختيار قائم على البساطة. فإذا اخترنا البندول كأساس للزمن، فإن النظام المؤدي إلى قوانين فيزيائية سوف يكون أبسط كثيراً، مما لو اخترنا نبضات قلبي. ولكن على الرغم من أن اختيارنا لنبضات القلب معقد إلى حد ما، إلا أنه أرحم من اختيارنا لرحيل السيد سميث من منزله. هذا إذا لم يكن سيدنا سميث شبيهاً بعمانويل كانط، الذي قيل عنه انه كان يخرج من منزله في نفس الوقت تماماً من كل صباح،حتى أن الناس في المدينة كانوا يضبطون ساعاتهم عند ظهوره في الشارع(**). ولكن من غير الطبيعي أن نأخذ تحركات شخص ما، حياته

(*) وهذا الأمر شبيه بتفسير كل من بطليموس وكوبرنيق للظواهر الفلكية، إذ ان التنبؤ بالحوادث الفلكية التي قام بها بطليموس لم تكن تختلف كثيراً عن الحوادث الفلكية التي تنبأ بها كوبرنيق. فحركة الأجسام السماوية طبقاً لرسم بطليموس لا تقل في دقتها عما وضعه كوبرنيق. ولكن النسق الكوبرنيقي كان أكثر بساطة وانسجاماً من النسق البطليموسي. (المترجم).

(**) اشتهر عن كانط (١٧٢٤ ـ ١٨٠٤) الفيلسوف الألماني المعروف، أن حياته كانت منظمة انتظاماً آلياً كساعة دقيقة، محكمة الصنع. فهو يستيقظ في الصباح، ثم يشرب قدحاً من القهوة، ثم يكتب، ثم يقرأ محاضراته الجامعية، ثم يتناول وجبة من الطعام، ثم يتنزه، كل هذا في موعده المحدد الدقيق. وكان جيرانه في مدينة كونجسبرج يعرفون أن الساعة قد شارفت منتصف الرابعة حينما كان كانط يغادر باب منزله. (المترجم).

معرضة للفناء، قاعدة مناسبة لقياس الزمن .

وأعني بكلمة «مناسبة» طبعاً، انها ملائمة بالمعنى الذي يؤدي إلى قوانين بسيطة. فعندما نقيم مقياسنا للزمن على تأرجح البندول، نجد أن العالم الكلي يسلك بطريقة منتظمة إلى حد بعيد، ويمكن وضعه بقوانين غاية في البساطة. وربما لا يجد القارىء هذه القوانين البسيطة عند دراسته للفيزياء، ولكنها بسيطة بالمعنى النسبي للكلمة، لأنها ممكن أن تكون أكثر تعقيداً إذا تبنينا نبضات القلب كوحدة للزمن. ومن ثم نجد أن الفيزيائيين يعربون دائماً عن دهشتهم من بساطة القوانين الحديثة. فعندما اكتشف اينشتين مبدأه العام في النسبية، اعترته الدهشة من حقيقة أن مثل هذا المبدأ البسيط المتعلق بالنسبية، يتحكم في جميع الظواهر التي ينطبق عليها. فإذا أقمنا نظامنا لقياس الزمن على عملية لا تنتمي إلى فئة واسعة جداً من العمليات المتكافئة بالتبادل، فإن هذه البساطة سوف تختفي .

وعلى العكس من ذلك، ينتمي نبض قلبي إلى فئة ضيقة جداً من العمليات المتكافئة،إذ ربما يتدخل أعضاء جدد في الحوادث المحتملة التي قد تؤثر على جسمي، ذلك الجسم الذي يرتبط فسيولوجياً بنبضات القلب. فعلى الرغم من أن النبض في رسغي الأيسر مكافىء للنبض في رسغي الأيمن، فإنه من الصعب أن نجد عملية اخرى، في مكان ما في الطبيعة، تكون متكافئة مع نبضي. وهكذا، نجد هنا فئة ضيقة جداً من العمليات المتكافئة، بالمقارنة بواحدة من الفئات الشاملة جداً، والتي تتضمن حركات الكواكب، وتأرجح البندولات، وهكذا. ولذلك يستحسن أن نختار عملية من هذه الفئة الواسعة، ونتخذها أساساً لقياس الزمن .

ولا يهم كثيراً أي واحدة من عمليات هذه الفئة نتخذ، لأننا لسنا مشغولين بعد بقياس شديد الأحكام. فما علينا إلا أن نختار عملية واحدة، وأن نذكر أن العملية المختارة، دورية بالمعنى القوي، وهذه العملية بالطبع، إنما هي مجرد موضوع للتعريف فحسب، ولكن إذا كانت العمليات الأخرى المتكافئة معها دورية بشكل قوي، وبطريقة غير مبتذلة، لن تكون موضوعاً للتعريف فحسب. لأننا نجري اختبارات امبيريقية، وعن طريق الملاحظة نتبين أنها دورية بالمعنى القوي، فهي تظهر اطراداً كبيراً في فواصل الزمن. ونتيجة لذلك، نصبح قادرين على وصف عمليات الطبيعة بطريقة بسيطة نسبياً. وهذه النقطة شديدة الأهمية، لدرجة انني أؤكد عليها مراراً وتكراراً. إذ ان اختيارنا لعملية كأساس لقياس الزمن ليست موضوعاً للصواب والخطأ. فأي اختيار ممكن منطقياً، وأي اختيار سوف يؤدي إلى مجموعة متسقة من القوانين الطبيعية،ولكن إذا أقمنا مقياسنا للزمن على عمليات بالمعنى القوي، كتأرجح بندول، نجد أنها تؤدي إلى فيزياء

اكثر بساطة، مما لو استخدمنا عمليات اخرى معينة. لاشك ان حسناً الفسيولوجي للزمن، وشعورنا الحدسي للانتظام، قد دخل تاريخياً في اختياراتنا المبكرة للعمليات التي نتخذها أساساً لقياس الزمن. فالشمس لأنها تشرق وتغرب بانتظام، أصبحت المزاول الشمسية وسيلة مناسبة لقياس الزمن. فهي مناسبة أكثر من حركات السحب مثلاً. وبالمثل، وجدت الثقافات البدائية أن تقيم الساعات على زمن سرعة الرياح، أو مجرى المياه، أو عمليات أخرى كانت تتوافق بشكل أو بآخر مع حركة الشمس. ولكن تبقى النقطة الأساسية، ألا وهي أن الاختيار يتم في حدود التكافؤ والبساطة.

الفصل التَاسع

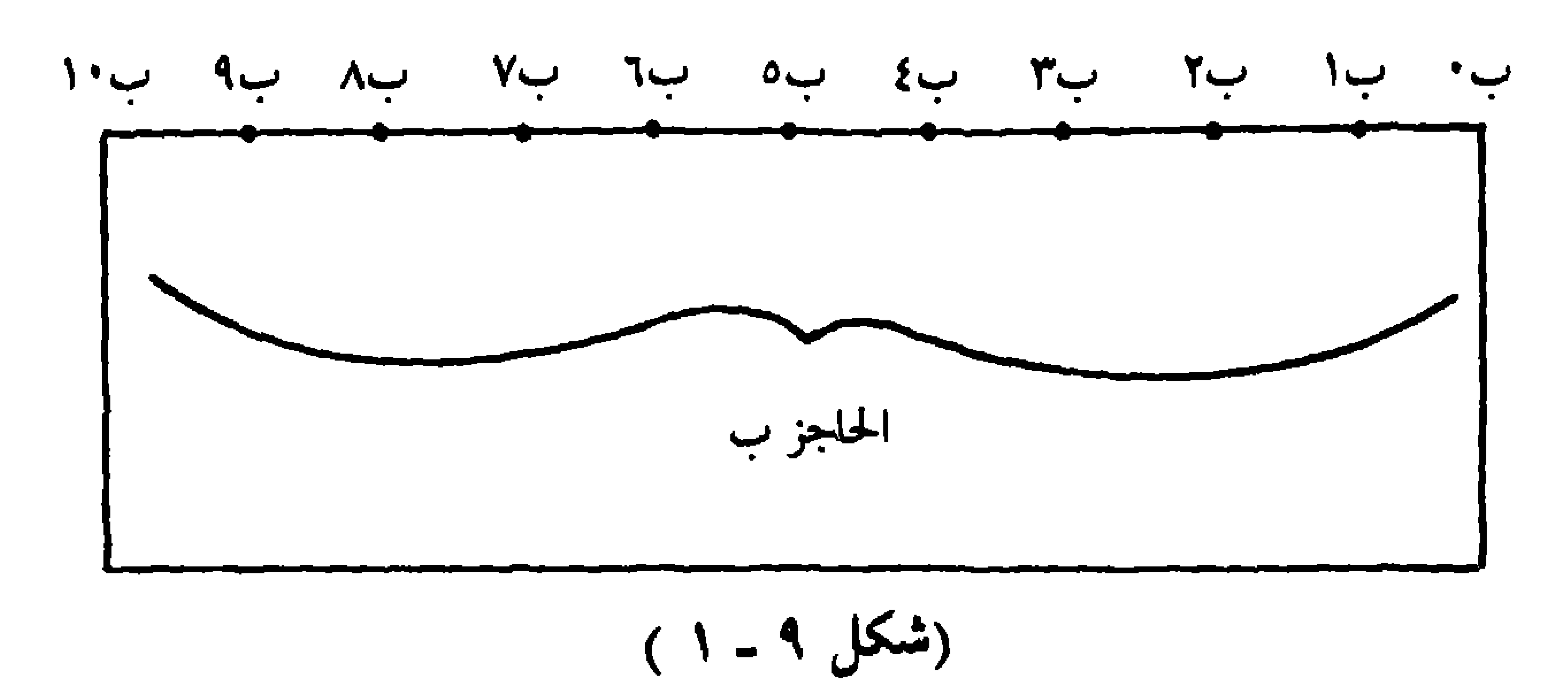
الطول

دعنا نتحول الآن، من مفهوم الزمان إلى مفهوم أساسي آخر في الفيزياء، ألا وهو الطول، وأن نتفحصه باقتراب اكثر مما فعلنا من قبل. ولعلك تتذكر اننا قلنا في الفصل السابع ان الطول، مقدار ممتد، ويمكن قياسه عن طريق خطط القواعد الثلاث. القاعدة الأولىٰ تعرّف المساواة على هذا النحو: نضع علامة على جزء من حافة مستقيمة، بحيث تكون مساوية لطول جزء آخر نضعه على حافة أخرى مستقيمة. فإذا تقابل طرفا الجزئين، إذن لكان كل منهما متطابقاً مع الآخر في نفس اللحظة. وتعرّف القاعدة الثانية الإضافة على هذا النحو: إذا قمنا بضم الحافتين على خط مستقيم واحد، إذن لكان طولهما الكلي مساوياً لمجموع أطوالهما المتفرقة. وتعرّف القاعدة الثالثة الوحدة على هذا النحو: نختار قضيباً له حافة مستقيمة ونضع علامتين على هذه الحافة، ثم نختار الجزء الواقع بين تلك العلامتين ونتخذه وحدتنا للطول.

ونستطيع الآن، على أساس هذه القواعد الثلاث، أن نطبق الاجراء المعتاد للقياس. افترض اننا نرغب في أن نقيس طول حافة طويلة ب، ولتكن الحافة لأحد الحواجز. ولدينا قضيب قياس عند نهاية طرفيه س و ص، ورسمنا العلامة أ التي تمثل وحدتنا للطول. نضع القضيب بطول ب في الموضع ب١ (انظر الشكل ٩ ـ ١) بحيث تتطابق س مع ب في بداية طرف الحاجز ب، ثم نضع العلامة ب١ بحيث تتطابق مع ص. وعندئذ نحرك القضيب أ إلى الموضع أ٢، ونضع على الحاجز ب العلامة ب٢. وهكذا حتى نصل إلى نهاية طرف الحاجز ب. افترض:

أن الموضع العاشر للقضيب الذي هو أ١٠، يتطابق طرفه ص تقريباً مع نهاية طرف ب ١٠





(شكل ٩ - ١)

الذي هو على نهاية الحاجز ب. ومن ب١، ب٢، . . . ب١٠ التي هي أجزاء ب. نحصل عن طريق القاعدة الثالثة على: .

ل(أ) = ل(أ١) = ل(أ٢) = . . . = ل(أ١٠) = ١

وعن طريق * * الأولى، قاعدة المساواة، نحصل على:

ل(ب١) = ١، ل(ب٢) = ١، . . . ل(ب١٠) = ١

وعن طريق القاعدة الثانية، قاعدة الإضافة، نحصل على:

ل(ب١ ٥ب٢) = ٢، ل(ب١ ٥ ب٢ ٥ ب٣) = ٣. . .

ولذلك فإن:

ل(ب) = ل(ب١ ٥ ب٢ ٥. . . ٥ ب١٠) = ١٠

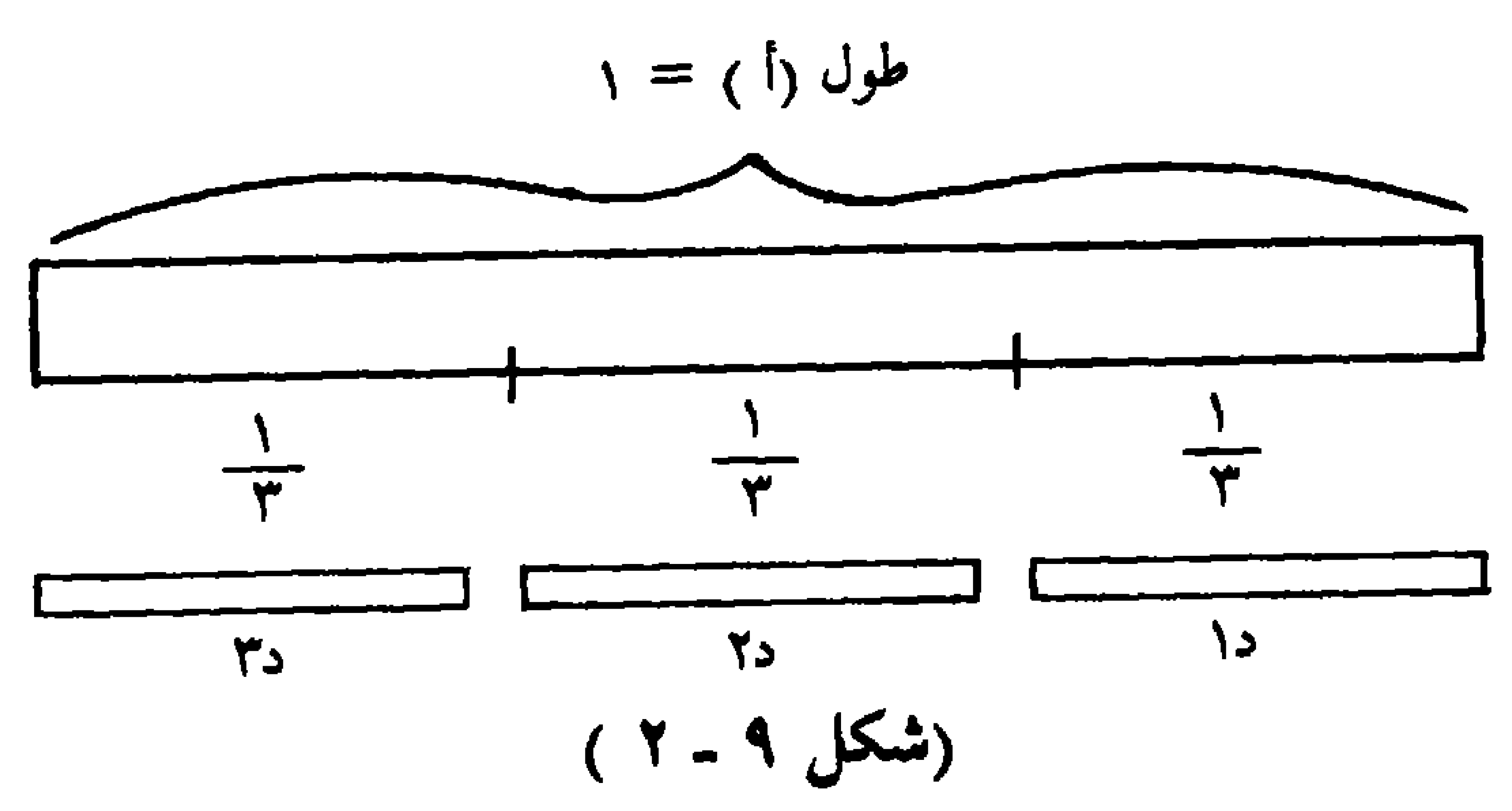
ويعد هذا الاجراء، اجراء أساسياً لقياس الطول، وينطبق فقط على الأعداد الصحيحة باعتبارها قيماً للطول الخاضع للقياس. وتجرى التصفية النهائية عن طريق تقسيم وحدة الطول إلى الأجزاء المتساوية ن. (تقسم البوصة تقليدياً بطريقة مضاعفة: أولاً إلى جزئين، ثم إلى أربعة، فثمانية، وهكذا. ويقسم المتر عشرياً: أولاً إلى عشرة اجزاء، ثم الى مائة، وهكذا). وبهذه الطريقة نستطيع ان نرسم، عن طريق المحاولة والخطأ قضيباً قياسياً إضافياً، طول الجزء فيه عليه العلامة د، بحيث يمكن وضع د الى ن من المواضع المجاورة، د١، د٢ . . . دن، وذلك بطول حافة الوحدة أ (انظر الشكل ٩ ـ ٢). ومن ثم يمكننا القول ان:

ن × ل (د) = ل (أ) = ١

ولذلك فإن:

$$ل\ (د) = \frac{١}{ن}$$

وعن طريق هذه القطع الجزئية التي عليها العلامة أ، نستطيع أن نقيس الآن طول أي حافة بدقة أكبر. وعندما نعيد قياس طول الحاجز ب، في المثال السابق، لن نجده ١٠، ولكننا سوف نجده ١٠,٢ . وبهذه الطريقة تدخل الكسور في المقاييس وتجعلها اكثر احكاماً. كما يمكن أن تكون القيمة الخاضعة للقياس أي عدد جذري موجب .

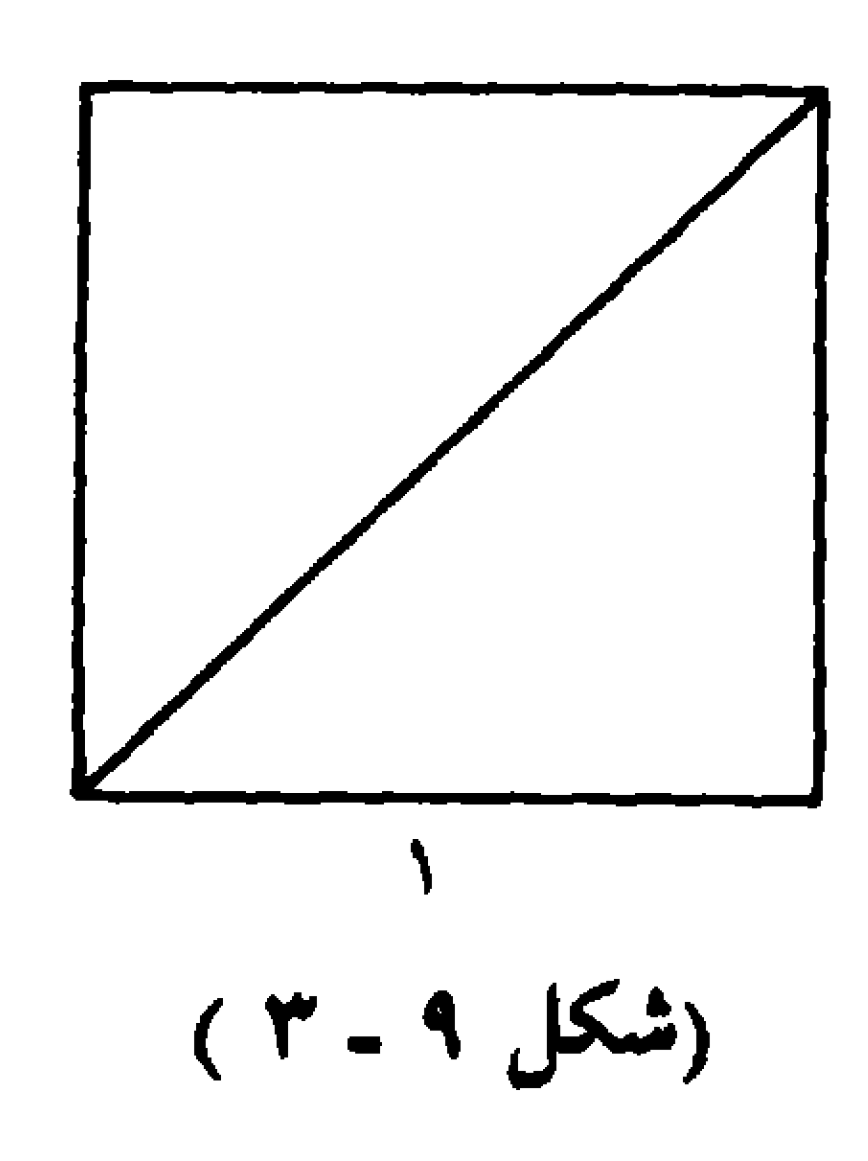


(شكل ٩ - ٢)

ومن الأهمية بمكان أن نفهم أنه عن طريق عمل هذه التصفيات في القياس، نستطيع أن ندخل كسوراً أقل فأقل، لكننا لا نستطيع أن نصل أبداً إلى اعداد غير جذرية. ومن الناحية الأخرى، يلاحظ عادة أن فئة القيم الممكنة للمقدار في الفيزياء تحتوي على كل الأعداد الحقيقية Real Numbers (أو كل الأعداد الحقيقية لفترة معينة) وهي تلك التي لا تشتمل على اعداد غير جذرية، مثلها تماماً مثل الأعداد الجذرية. ومع ذلك، فإن هذه الأعداد غير الجذرية تدخل في مرحلة متأخرة اكثر في ذلك القياس. ويمكن للقياس المباشر أن يعطى قيماً، معبرا عنها فقط باعتبارها اعداداً جذرية. ولكن عندما نصوغ قوانين، ونجري حسابات بمساعدة هذه القوانين، فإننا ندخل عندئذ الأعداد غير الجذرية في الصورة، فهي تدخل في سياق نظري، وليس في سياق القياس المباشر .

ولكي نوضح هذا اكثر، افترض مبرهنة فيثاغورث التي تذكر أن المربع المنشأ على وتر المثلث القائم الزاوية، يساوي مجموع المربعين المنشأين على الضلعين الآخرين. انها مبرهنة في الهندسة الرياضية، ولكن عندما نطبقها على موضوعات فيزيائية جزئية، تصبح قانوناً للفيزياء أيضاً. افترض أننا نشرنا من لوح خشبي، مربعاً، الضلع فيه يمثل وحدة الطول. تخبرنا مبرهنة

فيثاغورث أن طول قطر المربع (انظر الشكل ٩ ـ ٣) يساوي الجذر التربيعي للعدد، والجذر التربيعي للعدد، إنما هو عدد غير جذري. ولا يمكن قياسه بدقة عن طريق مسطرة، اعتماداً على وحدتنا للقياس، بصرف النظر عن كيفية وضع علامة للتقسيمات الكسرية الفرعية الصغيرة. ومع ذلك، عندما نحسب طول القطر مستخدمين المبرهنة الفيثاغورية، نحصل بطريقة غير مباشرة، على عدد غير جذري. وبالمثل اذا كنا نقيس قطر قرص خشبي دائري، ووجدنا أنه يساوي ١، فإننا نحسب طول القرص على أنه عدد غير جذري.



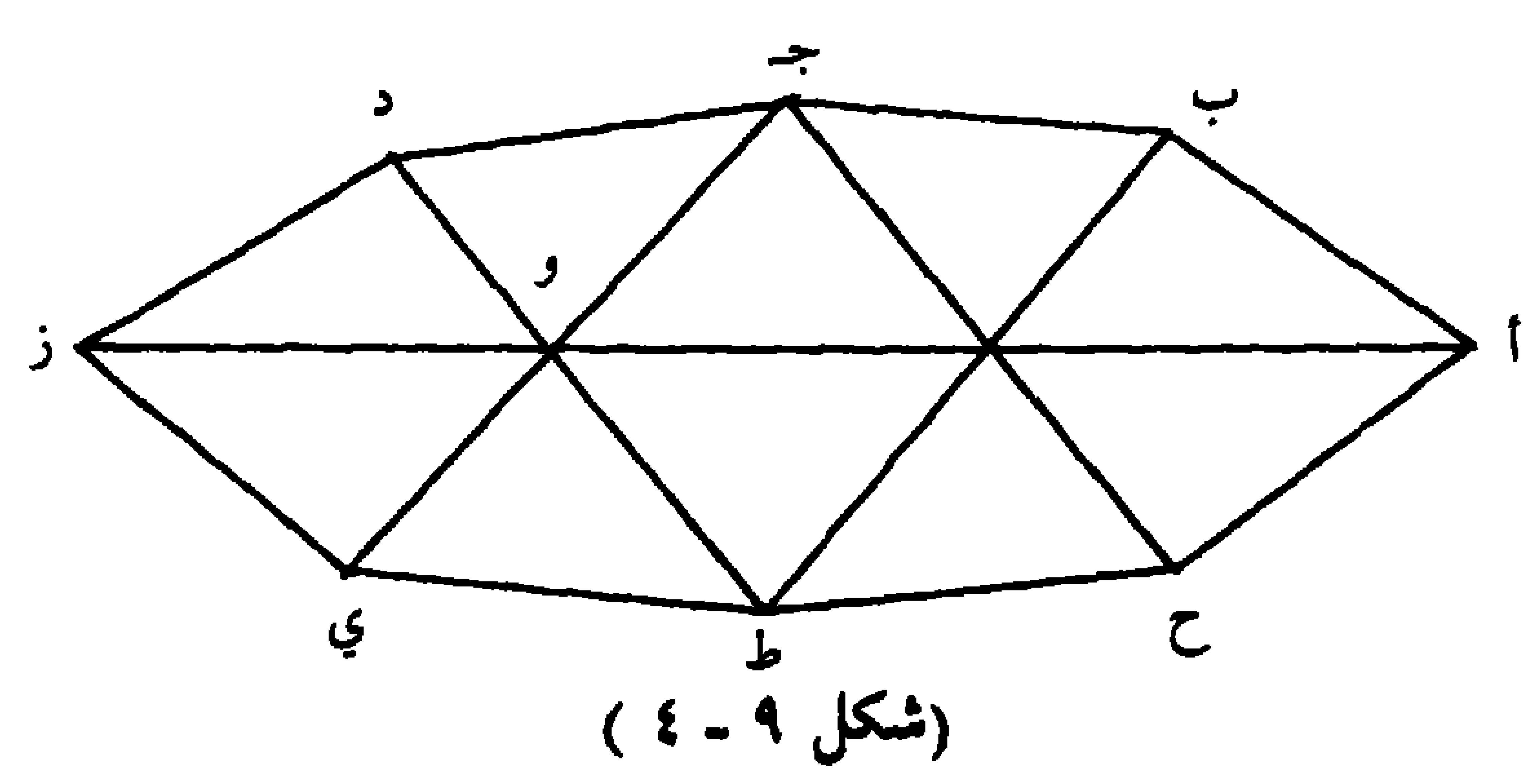
(شكل ٩ ـ ٣)

ولأن الأعداد غير الجذرية تكون دائماً نتيجة للحسابات، ولا تكون أبداً نتيجة للقياس المباشر، ألا يمكن في هذه الحالة أن نتخلى عن كل الأعداد غير الجذرية في الفيزياء، ونعمل فقط بالأعداد الجذرية؟ ان هذا ممكن بالتأكيد، ولكنه سوف يؤدي إلى تغير ثوري، وليس ببعيد مثلاً، أن نكون قادرين على استخدام المعادلات التفاضلية، لأن مثل هذه المعادلات تتطلب تواصلاً للأعداد الحقيقية. ولم يتوافر لدى الفيزيائيين الدواعي الكافية لاجراء مثل هذا التغيير. ومع ذلك، هناك اتجاه قوي في فيزياء الكم نحو البدء في استخدام ما يسمى بالانفصال Discreteness إذ أن الشحنة الكهربية مثلاً، تقاس في كميات فقط، وتكون نتيجة لحواصل ضرب الشحنة الكهربية الصغرى Minimum. فإذا أخذنا هذه الشحنة الصغرى بوصفها وحدة Unit، فإن جميع قيم الشحنات الكهربية تصبح اعداداً صحيحة. غير أن ميكانيكا الكم لا تعد منفصلة بشكل كامل بعد، على الرغم من أن الكثير منها منفصل، حتى ان بعض الفيزيائيين بدأوا يفكرون في امكان جعل جميع المقادير الفيزيائية، بما في ذلك المكان والزمان، مقادير منفصلة. ولكن هذا لا يعدو أن يكون مجرد تفكير وحسب، على الرغم من أنه تفكير غاية في الإثارة.

إذن ما هو نوع القوانين الممكنة في مثل هذه الفيزياء؟ ربما تكون القيمة الصغرى لكل مقدار، وأن كل قيم كبرى يتم التعبير عنها بوصفها حواصل ضرب هذه القيمة الأساسية. ولقد

اقترح أن تسمى القيمة الصغرى للطول «هو دون» «A Hodon» وأن تسمى القيمة الصغرى للزمن «كرونون» «A Chronon»، ويتألف الزمن المنفصل من قفزات دقيقة لا يمكن تصورها، وهي تشبه عقرب الثواني في ساعة اليكترونية عندما يقفز من ثانية إلى الثانية التي تليها. ولا يمكن أن يحدث أي حادث فيزيائي خلال أي فاصل بين القفزات.

وقد يتألف المكان المنفصل من نقاط من النوع المبين في الشكل ٩ ـ ٤. إذ توضح الخطوط المتصلة في الرسم الهندسي النقاط المتجاورة والنقاط غير المتجاورة. (فعلى سبيل المثال، النقطتان ب، جـ متجاورتان، والنقطتان ب، و غير متجاورتين). في الهندسة المتصلة المعتادة، نقول ان هناك عدداً لا نهائياً من النقاط بين ب، جـ، ولكن في الهندسة المنفصلة، إذا كانت الفيزياء تتبنى وجهة النظر هذه في المكان، إذن لقلنا انه ليس ثمة نقاط متوسطة بين ب، جـ، ولا يمكن لأية ظاهرة فيزيائية، أياً كانت، أن يكون لها موضع بين ب، جـ. وقد يكون هناك اليكترون مثلاً في واحدة من النقاط على الشبكة، ولا يكون في أي مكان آخر على الرسم الهندسي. ويعرف الطول هنا بوصفه أصغر طول لطريق واصل بين نقطتين. ويمكننا أن نشترط أن تكون المسافة بين أي نقطتين تساوي ١. ومن ثم يصبح طول الطريق أ ب جـ د ز مساوياً ٤، في حين أن أ هـ و ز تساوي ٣. ويمكننا ان نقول أن المسافة من أ إلى ز تساوي ٣، لأنها تساوي طول أقصر الطرق من أ إلى ز. ويمكن التعبير عن كل طول، بوصفه عدداً صحيحاً. بيد أن نظاماً فعلياً من هذا القبيل لم يشيّد في الفيزياء، على الرغم من أن هناك العديد من المقترحات التي قدمت للمقادير الضئيلة، حتى ان بعض الفيزيائيين قد فكر جدياً في حجم هذه المقادير الصغيرة.



(شكل ٩ ـ ٤)

وفي المستقبل، عندما يعرف الكثير عن المكان والزمان، والمقادير الأخرى للفيزياء، لابد أننا سنجدها جميعاً مقادير منفصلة، وعندئذ سوف تتعامل قوانين الفيزياء مع الأعداد الصحيحة فقط. وبالطبع سوف تكون اعداداً صحيحة ذات حجم يدعوا إلى الدهشة. ففي كل ملليمتر من

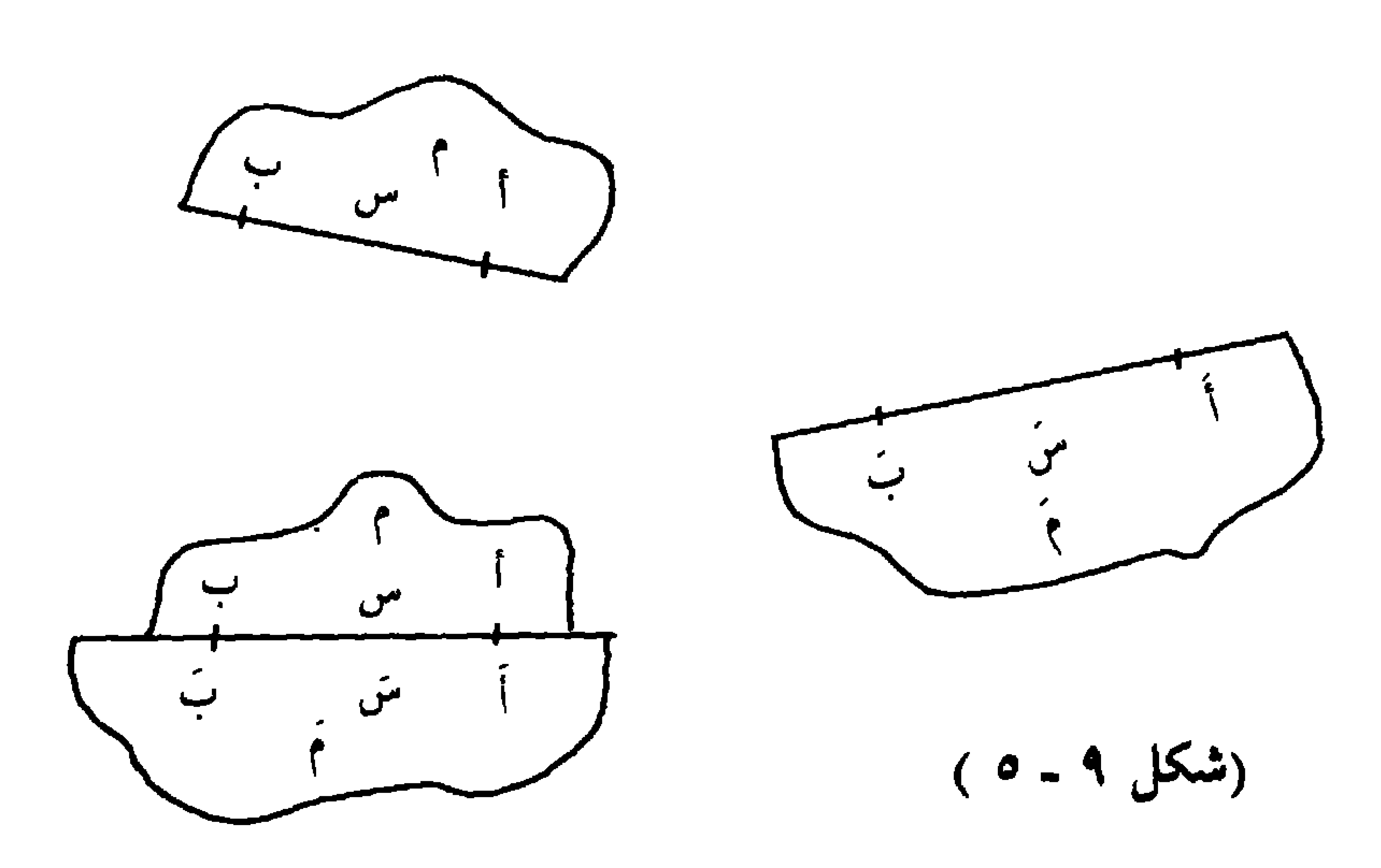
الطول، مثلاً، سيكون هناك بلايين من الوحدات الصغرى. إذ ان القيم المفترضة للمقدار، سوف ترتبط كل منها بالأخرى، بحيث نستطيع ان نتقدم عملياً، كما لو كان لدينا متصل من اعداد حقيقية. ومن المحتمل أن يستمر الفيزيائيون عملياً في استخدام حساب التفاضل والتكامل، ويقوموا بصياغة قوانين بوصفها معادلات تفاضلية، كما كان الحال من قبل. ويمكننا، في الغالب، أن نقول الآن ان هناك ملامح تتشكل لفيزياء مبسطة، وذلك عن طريق التعامل بمقاييس منفصلة، بحيث تصبح المقاييس الأخرى اكثر تعقيداً. إذ لا يمكن لملاحظاتنا أن تقرر أبداً، ما إذا كان ينبغي التعبير عن قيمة بوصفها عدداً جذرياً أم غير جذري، ولذلك فإن المسألة هنا تصبح واحدة من الأشياء الملائمة بالكلية - هل مقياس العدد المنفصل او المتصل ذات فائدة اكثر لصياغة قوانين فيزيائية معينة؟ .

في معرض وصفنا لكيفية قياس الأطوال، لم نقرر بعد أحد المسائل الجديرة بالاعتبار - ألا وهي، ما نوع الجسم الذي سوف نتخذه وحدتنا لقياس القضيب؟ بالنسبة لمتطلبات الحياة اليومية، يكفي أن نتخذ قضيباً حديدياً، أو حتى خشب، لأنه ليس من الضروري هنا أن نقيس الأطوال بدقة متناهية. ولكن إذا كنا نبحث عن هذه الدقة، فسوف نواجه في الحال بصعوبة شبيهة بتلك التي واجهناها في الدورية .

ولعلك تتذكر أننا كنا نواجه مشكلة معقدة بصدد تأسيس وحدتنا للزمن على أساس عملية دورية ذات فترات متساوية. ونحن هنا نواجه بمشكلة مماثلة لتأسيس وحدتنا للطول على أساس «جسم شديد الصلابة». اننا نميل الى الاعتقاد، أننا في حاجة إلى جسم يظل دائماً بنفس الطول تماماً. كما كنا في حاجة من قبل، إلى عملية دورية لها فواصل من الزمن تظل دائماً هي نفسها. ومن الواضح اننا لسنا في حاجة إلى تأسيس وحدتنا للطول على قضيب مطاط، أو مصنوع من الشمع بحيث يسهل اعادة تشكيله. فإذا افترضنا أننا في حاجة إلى قضيب شديد الصلابة، بحيث لا يتغير شكله أو حجمه، فلا بد في البداية، أن نقوم بتعريف «الصلابة». وربما نعرّفها بهذه الكيفية: يكون القضيب شديد الصلابة إذا ظلت المسافة بين أي نقطتين فيه ثابتة على مدار الزمن. ولكن ما الذي نعنيه بدقة من كلمتي «تظل ثابتة؟» لتوضيح ذلك لابد أن ندخل مفهوم الطول. فإذا لم يكن لدينا مفهوم عن الطول ووسائل قياسة، فما معنى قولنا أن المسافة بين نقطتين على القضيب، تظل، في الحقيقة، ثابتة؟ وإذا لم يكن في مستطاعنا أن نحدد هذا، فكيف يمكننا تعريف الصلابة؟ وهكذا نجد أنفسنا واقعين في مصيدة الدور، الذي وقعنا فيه من قبل عندما كنا بصدد البحث عن طريقة لتمثيل عملية دورية بشكل قوي، قبل ان يكون لدينا نظام متطور لقياس الزمن. ومرة أخرى، ما السبيل الى الهرب من هذه الدائرة الشريرة؟

إن طريق الخلاص لهو شبيه بالطريق الذي اتبعناه للهرب من الدور في مقياس الزمن، الا وهو: استخدام المفهوم النسبي بدلاً من المطلق. ففي امكاننا ـ دون الوقوع في الدور ـ تعريف مفهوم «الصلابة النسبية» للجسم بالنسبة إلى جسم آخر. خذ الجسم م والجسم الآخر م١، ولدواعي البساطة، نفترض أن لكل منهما حافة مستقيمة، بحيث يمكننا أن نضع الحافتين معاً، ونقارن النقاط التي على طول كل منهما. (انظر الشكل ٩ ـ ٥).

افترض أن النقطتين أ، ب تحددان الجزء س، وبالمثل النقطتان أ، ب تحددان الجزء سَ. نقول ان الجزء س متطابق مع الجزء سَ، إذا وضعنا الحافتين بجانب كل منهما الأخرى، ووجدنا أن النقطة أ تتطابق مع النقطة أَ، والنقطة ب تتطابق مع بَ. هذا هو الاجراء العملي لتقرير أن الجزأين س، سَ متطابقان.



(شكل ٩ ـ ٥)

فإذا أجرينا الاختبار عدة مرات، ووجدنا تطابق النقطتين على الجزء س مع النقطتين على الجزء سَ، نستنتج من ذلك، أننا إذا أعدنا التجربة في أي زمن مستقبلي، فمن المحتمل أن تكون النتيجة واحدة. وبالإضافة إلى ذلك، إذا وجدنا تطابق العلامات في م مع نظيرها في مَ في كل زمن أجرينا فيه الاختبار، قلنا ان م، مَ شديدتا الصلابة.

ومن الضروري أن نفطن إلى أننا قد تجنبنا الدور هنا. لأننا لا نتحدث عن صلابة كلية لـ م، كما أننا لا نزعم أن م تظل دائماً ثابتة في الطول. ولكن كل ما اردنا قوله هو أن للجسمين صلابة بالنسبة إلى كل منهما الآخر. فإذا اخترنا م بوصفها مقياساً للقضيب، ووجدنا أن العلامات المحددة على م١ تظل ثابتة في الطول، ثم اخترنا م١ بوصفها مقياساً للقضيب ووجدنا أن

العلامات المحددة على م تظل ثابتة، فإن ما نحصل عليه هنا، هو مفهوم الصلابة النسبية، أي صلابة جسم بالنسبة إلى آخر .

وعندما نفحص الأجسام المختلفة في العالم، نجد أن العديد منها ليست له صلابة بالنسبة الى الأخرى. افترض على سبيل المثال، يداي. انني أضمهما معاً، ولذلك أجد أن أزواجاً معينة من النقاط على أطراف أصابعي تتطابق، وأضمهما مرة أخرى، فأجد أن مواضع أصابعي تتغير، فلا تتطابق نفس أزواج النقاط، ولذلك فإنني لا استطيع أن أزعم أن يدي قد ظلتا صلبتين بالنسبة لكل منهما الأخرى. ويصدق نفس الشيء إذا قارنا بين جسمين مصنوعين من شمع، أو جسم من حديد وجسم آخر من مطـاط لين. ولكن مثلما وجدنا أن العالم يحتوي على فئة واسعة جداً من العمليات المتكافئة في دوريتها، فقد يواتينا الحظ في ظرف عرضي آخر للطبيعة، فنصادف، بشكل امبيريقي، وجود فئة واحدة واسعة جداً من الأجسام التي تكون صلبة بشكل تقريبي كل منها بالنسبة إلى الأخرى. وليكن الجسمان من المعدن أو الحديد أو النحاس.. وهكذا، أو حتى جسمين من الحجارة او الخشب، ولكن في حالة الخشب لابد أن يكون قد جف جيداً، وزال عنه الاخضرار. اذن هناك الكثير جداً من الجوامد التي يمكن أن نصنع منها أجساماً صلبة، ونقارن احداها بأخرى. ونفتقر إلى هذه الصلابة بالطبع اذا قمنا بثني الجسم أو جعلناه يتمدد بالتسخين، وهكذا الأجسام تسلك بطريقة منتظمة إلى أقصى حد .

ولعلك تتذكر، أننا في معرض مناقشتنا للدورية، رأينا أنه ليس ثمة ضرورة منطقية تلزمنا أن نؤسس مقياسنا للزمن على واحدة من العمليات الدورية التي تنتمي إلى فئة واسعة من العمليات المتكافئة. وإنما وقع اختيارنا على هذه العملية فقط دون غيرها لأن الاختبار قد أدى إلى بساطة أكثر في قوانيننا الطبيعية. وهناك اختيار مماثل هنا، فليس ثمة ضرورة منطقية لكي نؤسس مقياس الطول على عضو في فئة واسعة من الأجسام الصلبة نسبياً. وإنما نختار مثل هذه الأشياء لأنها موافقة اكثر لهذا الغرض. فإذا وقع اختيارنا على قضيب من المطاط أو الشمع واتخذناه وحدتنا للطول، فلن نجد الا القليل جداً من الأجسام في العالم التي تصلح لمعيارنا، ومن ثم يصبح وصفنا للطبيعة شديد التعقيد. فإذا قمنا مثلاً بقياس أجسام متعددة الأطوال، ومصنوعة من الحديد، بعصا ياردية Yardstick مصنوعة من المطاط اللين، فإننا، في كل مرة نجري فيها القياس، نحصل على قيم مختلفة. ولن يرحب عالم الطبيعة بالطبع بأن يثقل كاهله بمجموعة من القوانين الفيزيائية المعقدة في وصف مثل هذه الظواهر. أما إذا اخترنا ـ من الناحية الأخرى ـ قضيباً معدنياً واتخذناه مقياساً للطول، فإننا نجد عدداً كبيراً من الاجسام في العالم التي تصلح لمعيارنا، ومن ثم ندخل انتظاماً أكبر بكثير، وأبسط في وصفنا للعالم .

وينشأ هذا الانتظام بالطبع، من طبيعة العالم الواقعي. افترض اننا نحيا في عالم تكون فيه الأجسام الحديدية صلبة نسبياً كل منها بالنسبة للأخرى، والأجسام النحاسية صلبة نسبياً كل منها بالنسبة للأخرى. أما الجسم الحديدي فلا يكون صلباً بالنسبة إلى جسم نحاسي. ليس ثمة تناقض منطقي هنا، فهو عالم ممكن. فإذا عشنا في مثل هذا العالم واكتشفنا أنه يحتوي على مقدار كبير من النحاس والحديد، فكيف نختار بين الاثنين كأساس مناسب للقياس؟ بالطبع سوف يكون لكل اختيار ضرره. فإذا كانت المعادن الأخرى شبيهة بذلك، لواجهنا اختيارات صعبة اكثر. ولكن لحسن الحظ اننا نحيا في عالم ليس على هذا النحو، وإنما كل المعادن فيه صلبة بالنسبة لكل منها الأخرى. ولذلك ينبغي علينا أن نتخذ واحدة منها بوصفها مقياساً لنا. وعندما نفعل ذلك، يتبين لنا أن الأجسام المعدنية الأخرى صلبة كذلك.

وهكذا، يصبح من المرغوب فيه بشكل واضح أن نقيم مقياسنا للطول على قضيب معدني اكثر منه على قضيب مطاطي، كما نقيم مقياسنا للزمن على بندول اكثر منه على نبض القلب، وذلك لأننا نميل إلى نسيان أن هناك مركباً اجرائياً في اختيارنا لمقياس ما، هذا المركب الذي شددّت عليه في اطروحتي للدكتوراه «في المكان» «On space» وشدد عليه رايشنباخ أخيراً في كتابه «في المكان والزمان» «On space and time».

الفصل العَاشِر

المقادير المشتقة وَاللّغَة الكميَّة

متى توصلنا إلى قواعد لقياس بعض المقادير، مثل الطول المكاني، وطول الزمن، والكتلة، يمكننا أن ندخل ـ على أساس تلك المقادير الأولية ـ مقادير أخرى بالتعريف . وتسمى هذه المقادير، المقادير «المعرفة» أو «المشتقة». ويمكن تحديد قيمة المقدار المشتق دائماً بطريقة غير مباشرة، وذلك بمساعدة تعريفه من قيم المقادير الأولية المتضمنة في التعريف .

ومع ذلك يمكن في بعض الحالات أن نستحدث أداة تقيس المقدار المشتق بشكل مباشر. فعلى سبيل المثال، ينظر إلى الكثافة بشكل عام على أنها مقدار مشتق، لأن قياسها يعتمد على قياس طول وكتلة المقادير الأولية. وذلك بأن نقيس حجم وكتلة جسم ما بشكل مباشر، ومن ثم نعرّف كثافته بوصفه حاصل الكتلة مقسوماً على الحجم. ومن ناحية أخرى يمكن أن نقيس كثافة سائل بشكل مباشر، وذلك عن طريق المسيل(*) A Hydrometer، وهو عبارة عن زجاجة عائمة لها ساق طويلة رفيعة مثل الترمومتر (مقياس الحرارة)، وعلى الساق علامات لمقاييس تشير إلى العمق الـذي تغوص فيه الأداة في السائل محل الاختبار. وعن طريق قراءة هذا المقياس، يتحدد كثافة السائل التقريبية بشكل مباشر. ومن ثم لا ينبغي النظر إلى التمييز بين المقادير الأولية والمشتقة بوصفها شيئاً أساسياً، وإنما هو تمييز يعتمد على الاجراءات العملية التي يتبناها الفيزيائيون في اجراء مقاييسهم .

وإذا لم يكن الجسم متجانساً، لتحدثنا عن «كثافة متوسطة» ، وقد يكون من المغري لشخص ما ان يقول ان كثافة مثل هذا الجسم ـ عند أي نقطة مفترضة ـ لابد من التعبير عنها بوصفها

(*) المسيل (الهيدرومتر) هو مقياس الثقل النوعي للسوائل. (المترجم).

حاصل الكتلة المقسوم على الحجم، ولكن لأن الموضوع منفصل، فلا يمكن تطبيق مفهوم الحد هنا. أما في حالات المقادير المشتقة الأخرى فإن مفهوم الحد يعد ضرورياً. افترض مثلاً أن هناك جسماً يتحرك بطول طريق، وانه اثناء الفاصل الزمني للطول △ ت، تحرك هذا الجسم بالطول المكاني △ م. ويمكننا الآن تعريف «سرعته»، وهو مقدار مشتق آخر، بوصفه خارج قسمة △ م/ △ت. أما إذا كانت السرعة غير ثابتة، لأمكننا في هذه الحالة فقط أن نقول ان «سرعته المتوسطة» أثناء هذا الفاصل الزمني كانت △ م/ △ ت. فما هي سرعة الجسم في نقطة زمنية معينة أثناء هذا الفاصل؟ الحقيقة أنه لا يمكن الإجابة على هذا السؤال عن طريق تعريف السرعة بوصفها خارج قسمة بسيط للمسافة على الزمن، بل ينبغي أن ندخل مفهوم الحد على اعتبار أن الفاصل الزمني يقترب من الصفر. وبكلمات اخرى، ينبغي أن نستخدم ما يسمى في الحساب «بالمشتق» Derivative، وبدلاً من خارج القسمة البسيط ت △ م/ △ ت، نحصل على المشتق التالي:

$$\frac{م ق}{ت ق} = الحد \frac{△ م}{△ ت} بالنسبة لـ △ ت \leftarrow صفر$$

ويطلق على هذا اسم «السرعة اللحظية»«Instantaneous velocity» للموضوع، لأنه يعبر عن سرعة في نقطة زمنية مخصوصة، اكثر من تعبيره عن سرعة متوسطة لفاصل أعلى. وهذا بالطبع مثال آخر للمقدار المشتق الذي يمكن أن يقـاس ـ مثل مفهوم الكثافة ـ بطريقة مباشرة أيضاً، وذلك عن طريق أدوات معينة، مثل عداد سرعة السيارة، فهو يعطي قياساً مباشراً لسرعة السيارة اللحظية .

وقد استخدم أيضاً مفهوم الحد في تعريف المقدار المشتق للتسارع Acceleration فإذا كان لدينا السرعة س وتغير في تلك السرعة △ س التي تحدث من وقت لآخر، وكان الفاصل الزمني هو △ ت والتغير في الاسرعة △ س، فإن التسارع، أو المعدل الذي تتغير فيه السرعة يكون △ ت/ △ س. ومرة أخرى، ينبغي أن ننظر إلى هذا بوصفه «نسبة للتسارع» أثناء الفاصل الزمني △ ت. وإذا أردنا أن نتحدث عن «التسارع اللحظيَ» في نقطة زمنية مفترضة، بدقة أكثر، علينا أن نتخلى عن خارج القسمة للقيمتين المتناهيتين، ونستعيض عنه بالمشتق التالي:

$$\frac{ق س}{ق ت} = الحد \frac{△س}{△ت} بالنسبة لـ △ت \leftarrow صفر$$

ولذلك فإن التسارع اللحظي يكون هو نفسه المشتق الثاني لـ م بالنسبة إلى ت: والاختيار الاجرائي معناه، انه ليس ثمة علة منطقية تمنعنا من اختيار قضيب المطاط أو نبض القلب، وانما كل ما في الأمر أننا سوف ندفع الثمن غالياً جداً خاصة إذا كنا بصدد تطوير الفيزياء، لأنها سوف تصبح معقدة بشكل خيالي، وذلك بسبب تعاملنا مع عالم من عدم الانتظام الكامل. ولا يعني هذا بالطبع أن الاختيار تم عشوائياً، وإنما الاختيار الواحد مشروع تماماً مثل أي اختيار آخر. كما أن هناك أسساً عملية متينة، ألا وهي وجود العالم على ما هو عليه بالنسبة لتفضيل قضيب الصلب والبندول.

وقد نختار في احدى المرات مقياساً معيارياً مثل قضيب من الصلب، ونواجه باختيار آخر. ويمكننا ان نقول أن طول هذا القضيب المعين هو وحدتنا، بقطع النظر عن التغيرات في درجة حرارته أو مغناطيسيته وهكذا، أو يمكننا أن ندخل عوامل تصحيح معتمدة على مثل هذه التغيرات. ومن الواضح أن الاختيار الأول يعطي قاعدة أبسط، ولكن إذا تبنيناه قد نواجه مرة أخرى بنتائج غريبة. فإذا سخن القضيب، وقمنا حينئذٍ باستخدامه في عملية القياس، نجد أن كل الاجسام الأخرى في العالم قد انكمشت، وعندما يبرد القضيب نجد أن بقية الأجسام في العالم تتمدد مرة أخرى. ومن ثم نصبح مضطرين إلى أن نصوغ كل القوانين الشاذة والغريبة، ومع ذلك لن يكون ثمة تناقض منطقي، ويمكننا القول انه اختيار ممكن.

والاجراء الثاني هو أن ندخل عوامل تصحيح، وبدلاً من اشتراط أن الجزء الذي يقع بين العلامتين لابد أن يكون طوله ل ٥ (وليكن ١ أو ١٠٠)، نفترض الآن أن طوله عادي أي ل ٥ فقط، عندما تكون درجة حرارة القضيب ت ٥، وهي درجة الحرارة التي اخترناها باعتبارها درجة حرارة «معتادة»، أما في أي درجة حرارة اخرى ت، فإن طول الجزء يكون على النحو التالي:

ل = ل ٥ [١ + ب (ت ـ ت ٥)].

حيث ان ت تعد ثابتاً (ويطلق عليها اسم «معامل التمدد الحراري») التي هي صفة مميزة لمادة القضيب. وبنفس الطريقة ندخل تصحيحات مشابهة على الشروط الأخرى، مثل وجود مجال مغناطيسي قد يؤثر ايضاً في طول القضيب. وهكذا يفضل الفيزيائيون كثيراً هذا الاجراء المعقد ـ ادخال عوامل تصحيح ـ وذلك لنفس السبب الذي على أساسه اختاروا قضيباً معدنياً بدلاً من مطاطي. فإن هذا الاختيار انما يؤدي إلى تبسيط واسع للقوانين الفيزيائية.

$$\text{أ} = \frac{\text{ق س}}{\text{ق ت}} = \frac{\text{ق ٢م}}{\text{ق ت٢}}$$

وربما يقول فيزيائي من حين لآخر أن كثافة نقطة معينة في جسم فيزيائي هو المشتق في كتلته بالنسبة الى حجمه، ولكن هذه الطريقة تقريبية فقط في الحديث، ولا يمكن أن نأخذ قضيته بشكل حرفي، لأنه على الرغم من أن المكان والزمان، في فيزياء اليوم، غير منفصلين، الا ان توزيع الكتلة في الجسم، لا يوجد ـ على الأقل في المستوى الجسيمي أو الذري. ولهذا السبب لا يمكننا الحديث بشكل حرفي عن الكثافة بوصفها مشتقة، فهي ليست مشتقة بالمعنى الذي يمكن لمفهوم هذا الحد أن ينطبق على المقادير المستمرة (غير المنفصلة) بشكل حقيقي.

وهناك العديد من المقادير المشتقة الأخرى في الفيزياء. ولكي نتعرض لها، علينا ألا ننزلق في أحكام معقدة مثل تلك التي ناقشناها من قبل عندما تعرضنا للمقادير الأولية. ولقد تعرضنا فقط لتعريف كيف يمكن للمقادير المشتقة أن تحتسب من قيم المقادير الأولية. التي يمكن قياسها بشكل مباشر.

وتواجهنا في بعض الأحيان مشكلة محيرة تتعلق بالمقادير الأولية والمشتقة معاً. ولكي نوضح ذلك، تخيل أن لدينا المقدارين م١ وم٢، وانه عند فحصنا لتعريف م١ أو القواعد التي ترشدنا إلى كيفية قياسه نجد أن المقدار م٢ متضمناً فيه، وهذا يعطي انطباعاً بالدور في الاجراءات، ولكن يمكن تجنب هذا الدور ببساطة عن طريق ما يسمى بمنهج التقريب المتتابع Method of Succesive Aproximation.

ولعلك تتذكر أننا درسنا في الفصل السابق المعادلة التي تعرّف طول قياس القضيب، ووجدنا في تلك المعادلة عامل تصحيح للتمدد الحراري. أي أن درجة الحرارة كانت ضمن مجموعة من القواعد المستخدمة في قياس درجة الحرارة. ولعلك تتذكر أيضاً أننا في معرض عرضنا لقواعد قياس درجة الحرارة، أشرنا إلى الطول أو بالأحرى الى حجم سائل الاختبار المستخدم في الترمومتر، ولكن هذا الحجم قد تحدد بالطبع بمساعدة الطول. ومن ثم يبدو أن لدينا هنا مقدارين: الطول، ودرجة الحرارة، كل منهما يعتمد على الآخر في تعريفه، ويبدو في هذا الأمر دور، ولكنه في الحقيقة ليس كذلك.

هناك طريقة واحدة فقط للخروج من هذا المأزق، وهي أن ندخل أولاً مفهوم الطول دون اعتبار لعامل التصحيح الخاص بالتمدد الحراري. غير أن هذا المفهوم لن يعطينا مقاييس شديدة الأحكام، ولكنه سوف يؤدي وظيفته بطريقة مُرضية إلى حد ما، إذا لم يكن مطلوباً الاحكام الدقيق. فإذا كان قضيب الحديد مثلاً هو المستخدم في القياس، لكان التمدد الحراري ـ تحت الظروف العادية ـ صغيراً إلى الحد الذي تظل فيه المقاييس محكمة إلى حد ما. وسوف يزودنا هذا بمفهوم أول عن الطول المكاني ل١. ويمكننا الآن استخدام هذا المفهوم في عمل ترمومتر، فإذا كنا

بصدد قياس قضيب من الحديد، نضع علامة بطول الأنبوبة التي تحتوي على سائل الاختبار، ولأننا يمكن عمل هذا القياس باحكام مناسب، فإننا نحصل أيضاً على احكام مناسب عندما نقيس درجة الحرارة على هذا المقياس. وبمثل هذه الطريقة ندخل مفهومنا الأول عن درجة الحرارة ح١. ويمكننا الآن استخدام ح١ في صياغة مفهوم دقيق للطول ل٢، ويتم ذلك عن طريق ادخال ح١ ضمن القواعد التي تعرف الطول. ومن ثم يتيح لنا المفهوم الدقيق للطول ل٢ أن نؤسس مقياساً أكثر دقة لمقياسنا الحراري، ويؤدي هذا بالطبع إلى ح٢ الذي يعد مفهوماً دقيقاً لدرجة الحرارة.

ان هذا الاجراء الذي عرضنا له، سوف يدخل تحسينات ملموسة على مفهومي الطول ودرجة الحرارة معاً، بحيث تصبح الأخطاء المتوقعة طفيفة جداً. أما في حالات أخرى، فقد نضطر إلى إعادة الكرّة مرات عديدة قبل أن تؤدي التحسينات المتتالية إلى مقاييس دقيقة بشكل يفي بإغراضنا. وينبغي التسليم بأننا لن نصل أبداً إلى منهج دقيق دقة مطلقة لقياس أي مفهوم من المفاهيم. ومع ذلك فإننا نؤكد على أنه إذا كررنا هذا الاجراء أكثر من مرة بادئين من المفهومين بشكلهما الفج، ثم قمنا بتنقيح كل منهما بمساعدة الآخر، لتوصلنا في نهاية الأمر إلى قياسات أكثر دقة. وبهذه الطريقة التقنية للتقريبات المتتالية، نتخلص فيما يبدو لنا من الوهلة الأولى أنه دائرة فاسدة.

وسوف نشرع الآن في معالجة مسألة طالما احتلت مكاناً بارزاً عند الفلاسفة، الا وهي: هل يمكن للقياسات أن تنطبق على كل مظهر من مظاهر الطبيعة؟ ألا يمكن أن تكون هناك مظاهر معينة من العالم أو حتى أنواع معينة من الظواهر لا يمكن أن تخضع - من حيث المبدأ - للقياس؟ ربما يسلم بعض الفلاسفة مثلاً، بأن كل شيء في العالم الفيزيائي خاضع للقياس (على الرغم من انكار البعض الآخر لذلك تماماً) ولكنهم يعتقدون عدم إمكان ذلك إذا تعلق الأمر بالنشاط العقلي، بل ان بعضهم يذهب إلى المدى الذي يرون فيه أن كل شيء عقلي لا يقبل القياس.

وربما تكون حجة الفيلسوف الذي يأخذ بوجهة النظر هذه، على النحو التالي: «من حيث المبدأ، لا يمكن قياس حدة الشعور أو شدة الألم أو درجة القوة التي أتذكر بها حادثاً ماضياً. ربما أشعر أن تذكري لحادث ما، أكثر قوة من تذكري لحادث آخر، ولكنني لا استطيع أن أزعم أن قوة حادث ما يساوي ١٧ درجة بينما الحادث الآخر قوته ١٢,٥ درجة. ومن ثم فإن قياس شدة التذكر مستحيل من حيث المبدأ».

وللرد على وجهة النظر هذه، دعنا نفترض أولاً مقداراً من الثقل الفيزيائي. انك عندما

تلتقط حجراً وتجد أنه ثقيل، وتقارنه بحجر آخر وتجد أنه أخف منه كثيراً، ثم فحصت الحجرين، فلن ترى فيهما أي أعداد أو أي وحدات منفصلة تمكنك من احصائها. إذ أن الظاهرة نفسها لا تحتوي على أي شيء عددي، وإنما فقط على احساساتك الخاصة بالثقل. وما عليك - كما رأينا في الفصل السابق - الا أن تدخل المفهوم العددي وذلك عن طريق إقامة إجراء لقياسه. وهذا بالتحديد هو الذي تشير إليه بوصفه أعداداً للطبيعة. Numbers to Nature. أما الظواهر نفسها فلا تكشف لنا إلا الكيفيات التي نلاحظها. ومن ثم فإن كل شيء يقبل الحصر بعد اختراع أدوات قياسه، وبالتالي يصبح كل شيء عددياً، بالإضافة إلى الأعداد الأصلية التي تتعلق بالموضوعات المنفصلة.

واذن فإن ردنا على السؤال الفلسفي الأساسي، ينبغي - فيما أعتقد - أن يصاغ بهذه الطريقة: انك إذا وجدت في أي مجال من مجالات الظواهر، انتظاماً كافياً، بحيث يمكنك عقد مقارنات بينها، والقول بأنه، فيما يختص بعلاقة ما، ان هذا الشيء أكثر من ذلك، وان ذلك الشيء أكثر من شيء ما آخر، اذن لكان هناك، من حيث المبدأ، امكانية للقياس. والآن لا بد أن يكون لك من الكفاءة، ما يجعلك مؤهلاً لاختراع القواعد التي عن طريقها يمكن للأعداد أن تشير إلى الظواهر بطريقة مفيدة. وكما رأينا، فإن الخطوة الأولى للوصول إلى ذلك هي الحصول على قواعد مقارنة، وأن أمكن، قواعد كمية. وعندما نشير بالأعداد إلى الظواهر، لا يصبح هناك مجال للسؤال عما إذا كانت هذه الأعداد أعداداً «صحيحة» أم لا، لأننا ببساطة نخترع أحكاماً تحدد كيف يمكن للأعداد أن تشير إلى الظواهر. ومن وجهة النظر هذه، لا يوجد شيء، من حيث المبدأ، لا يمكن قياسه.

والحقيقة أننا، حتى في علم النفس نجري قياسات. فقد أدخلت قياسات الشعور في القرن التاسع عشر، ولعل القارىء يتذكر قانون فيبر - فتشنر Weber - Fechner Law، الذي قيل عنه في ذلك الحين انه مجال للسيكو فيزياء Psycho - Physics. إذ ان الشعور الذي يخضع للقياس كان متعلقاً أولاً بشيء ما فيزيائي، ومن ثم كانت القواعد توضع لتحدد درجة كثافة الشعور. فقد كانت قياسات الشعور تجري على سبيل المثال بالضغط على جلد البشرة عن طريق اثقال متعددة، أو الاحساس بطبقة الصوت أو درجته، وهكذا. وعند الحديث عن قياس طبقة الصوت، فإن حديثنا ينصب هنا على الاحساس، وليس على تردد موجة الصوت، ومن ثم فإننا نؤسس قياسنا على أصغر وحدة تشير إلى الاختلاف في طبقة الصوت، بحيث يمكن لأي شخص التعرف على ذبذباته. ولقد اقترح س. س ستيفنز S.S Stevens، في فترة ما، إجراءً آخر يعتمد على مطابقة موضوع ما لطبقة الصوت، الذي رأى أنه في منتصف الطريق تماماً بين طبقتي صوت

آخرين. وهكذا استطعنا ـ بطرق متعددة ـ أن نخترع مقاييس تقيس مقادير سيكلوجية معينة. غير أن هذا الأمر لم يصل إلى صورته المكتملة بالتأكيد. وذلك لأن هناك استحالة مبدئية في تطبيق المنهج الكمي على ظواهر سيكلوجية.

وعند هذه النقطة، ينبغي أن نعلق على حدود اجراء القياس. أولاً لا يوجد أدنى شك في أن القياس يعد واحداً من الاجراءات الأساسية في العلم، ولكن في نفس الوقت، لا يدعونا هذا إلى المغالاة في تقدير الحدود التي يمكن أن يصل إليها. إذ ان تحديد اجراء القياس لا يعطينا المعنى الكامل للمفهوم الخاضع للقياس. ومن الأفضل أن ندرس تطور العلم، وبصفة خاصة، العلم الذي شهد تطوراً سريعاً، وأعني به علم الفيزياء. ومن الأفضل أيضاً أن نتوخى الحذر ونسلم بحقيقة أن المعنى الكلي لمفهوم ما لا يمكن الاتيان به بمجرد اجراء القياس. إن هذا يصدق حتى على أبسط المفاهيم.

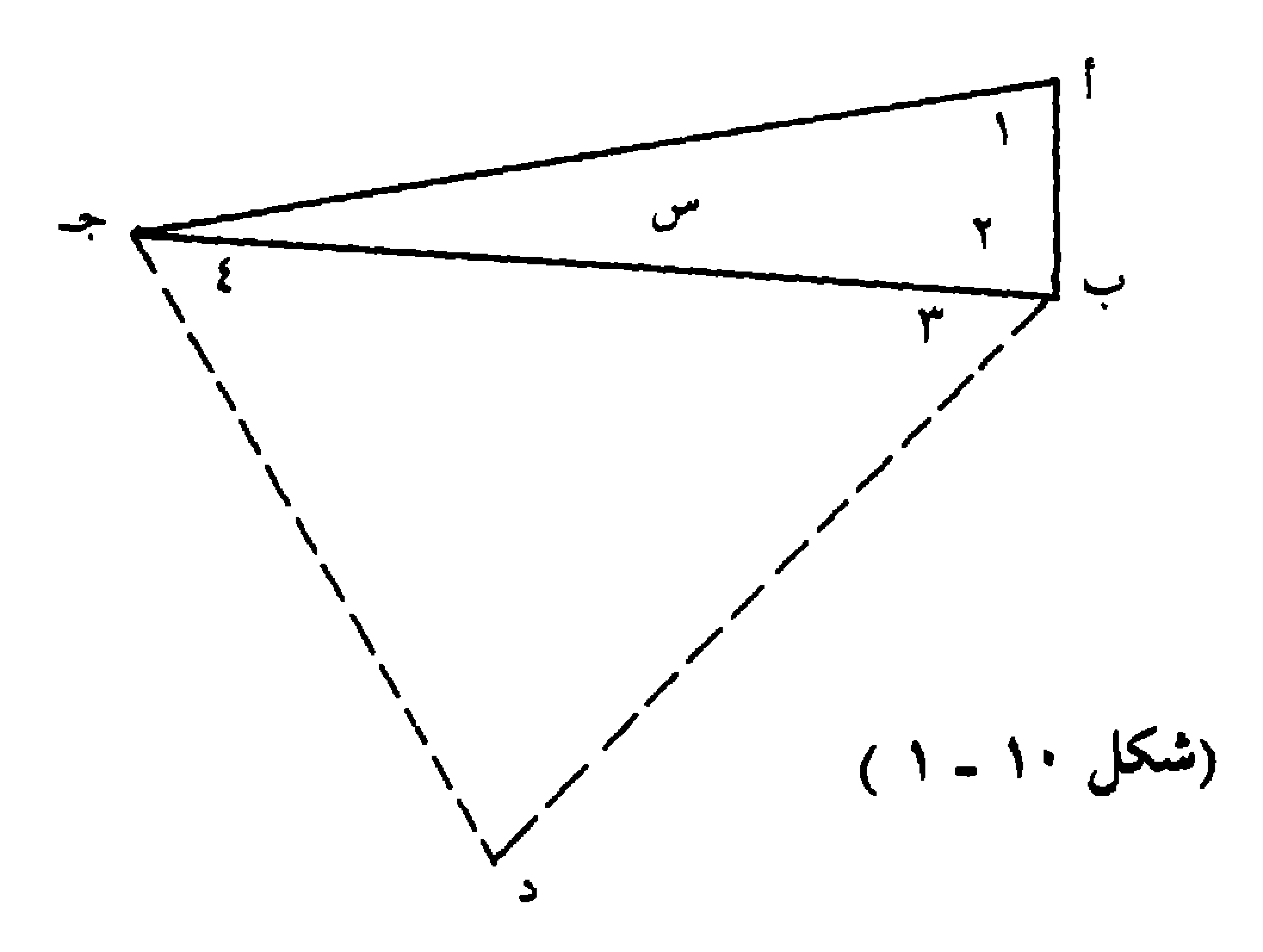
وكمثال على ذلك، ندرس الطول المكاني. إذا كنا بصدد اجراء قياس الطول عن طريق قضيب صلب، فلا يمكن أن ينطبق هذا الاجراء الا على قيم متوسطة معينة بحيث لا تكون كبيرة جداً ولا صغيرة جداً. إذ يمكن تطبيقه مثلاً على طول صغير مثل المليمتر أو جزء من المليمتر، ولكن ليس على الألف من المليمتر، لأن نموذج هذا الاجراء لا يمكن أن نقيس به الأطوال الصغيرة جداً. كذلك لا يمكن تطبيقه على المسافة من الارض إلى القمر، أو حتى المسافة بين الولايات المتحدة وانجلترا دون أن يكون في مقدورنا أولاً بناء جسر قوي بينهما. اننا نواصل الحديث بالطبع عن المسافة المكانية بين هذا القطر وانجلترا، وقصدنا من ذلك هو المسافة التي يمكن قياسها بقضيب قياس بشرط أن يكون سطح الأرض بين القطرين في حالة صلبة، غير أن السطح ليس صلباً، وحتى إذا كان كذلك، فلا بد أن نخترع اجراءً آخر لقياس الطول.

وهذا القياس يمكن أن يكون على النحو التالي. نحدد مسافة معينة على الأرض، بقضيب قياس، ولتكن هذه المسافة بين النقطتين أ، ب (أنظر الشكل ١٠ ـ ١) وعن طريق هذا الخط أ ب بوصفه الخط الأساسي، يمكننا أن نحدد المسافة من ب إلى النقطة جـ المتباعدة عنها، دون أن نستخدم قضيب القياس. وعن طريق أدوات المساحة (مسح الأراضي)، نقوم بقياس الزاويتين ١، ٢. كما أن نظريات الهندسة الفيزيائية تمكننا من حساب طول الخط س الذي هو المسافة بين ب، جـ. وبمعلومية هذه المسافة، وقياس الزاويتين ٣، ٤ يمكننا أن نحسب المسافة من ب إلى نقطة أبعد ولتكن د. وهكذا عن طريق اجراء يطلق عليه اسم «التثليث» Triangulation (*)

(*) وهو الاجراء الذي يستخدم في عملية المسح أو القياس بالاستعانة بعلم حساب المثلثات (المترجم).

نستطيع أن نقيس شبكة واسعة من المسافات. وبهذه الطريقة نتمكن من رسم خريطة لقطر واسع.

ويستخدم الفلكيون التثليث أيضاً في قياس المسافات من الأرض إلى أقرب النجوم التي تنتمي إلى مجرتنا، ولأن المسافات التي على الأرض قصيرة جداً بحيث تصلح للاستخدام كخطوط أساسية، فإن الفكليين يستخدمون المسافة من نقطة مدار الأرض إلى النقطة المقابلة لها.



(شكل ١٠ ـ ١)

غير أن هذا المنهج تنقصه الدقة الكافية، إذا ما تعلق الأمر بالنجوم التي تبعد عن مجرتنا بمسافات كبيرة جداً، أو بقياس مسافات لمجرات أخرى. ويتطلب الأمر عندئذ استخدام مناهج أخرى. فقد نتمكن مثلاً من تحديد الضوء الحقيقي لنجم من طيفه، وذلك عن طريق مقارنة هذا الضوء بضوء نجم مماثل له سبق أن رصدناه من على الأرض، وتمكنا من تقدير مسافته. وهناك أيضاً العديد من المناهج الخاصة بقياس المسافات، لا نقوم فيها بتطبيق قضيب القياس بشكل مباشر. فقد نرصد مقادير معينة، وعلى أساس قوانين ارتباط هذه المقادير بمقادير أخرى، نتوصل إلى تقديرات غير مباشرة للمسافات.

وعند هذه النقطة تواجهنا مشكلة. إذا كان هناك اثنا عشر منهجاً مختلفاً لقياس مقدار فيزيائي معين، كالطول مثلاً، ألا يحق لنا أن نتحدث عن اثني عشر مفهوماً للطول بدلاً من مفهوم واحد؟ لقد تصدى لهذه المشكلة الفيزيائي وفيلسوف العلم بريدجمان P. W. Bridgman في مؤلفة الكلاسيكي الحديث «منطق الفيزياء الحديثة» The Logic of Modern Physics (ماكميلان، ١٩٢٧)، وشدد بريدجمان على وجهة النظر التي تقول ان كل مفهوم كمي لا بد أن يعرّف عن طريق قواعد تكون متضمنة في اجراء قياسه. ويسمى هذا في بعض الاحيان

«بالتعريف الاجرائي» للمفهوم. ولكن إذا كان لدينا العديد من التعريفات الاجرائية للطول، فإنه طبقاً لبريـدجمان لا يمكننا الحديث عن مفهوم الطول. وإذا فعلنا ذلك لكان علينا أن نتخلى عن فكرة تعريف المفاهيم عن طريق اجراءات قياس محددة.

ووجهة نظري في هذا الموضوع على النحو التالي. انني أعتقد أن من الأفضل أن نلاحظ مفاهيم الفيزياء بوصفها مفاهيم نظرية في عملية وجود متعين بطرق أقوى فأقوى، وليست بوصفها مفاهيم تم تعريفها بشكل كامل عن طريق أحكام اجرائية. ففي الحياة اليومية نجري ملاحظات متعددة للطبيعة، ونصف هذه الملاحظات في حدود كيفية من «طويل»، «قصير»، «ساخن»، «بارد»، وأيضاً في حدود مقارنة مثل «أطول»، «أقصر»، «أسخن»، «أكثر برودة» وهكذا، اذن لغة الملاحظة هذه ترتبط باللغة النظرية للفيزياء عن طريق قواعد اجرائية معينة، ولذلك فإننا ندخل في اللغة النظرية مفاهيم كمية مثل الطول والكتلة. ولكن لا ينبغي أن نفكر في مثل هذه المفاهيم بوصفها معرّفة بشكل واضح. إذ ان هذه القواعد الاجرائية بالاضافة إلى كل مسلمات الفيزياء النظرية تساهم في اعطاء تعريفات جزئية أو على الاصح تفسيرات جزئية للمفاهيم الكمية.

الا أننا نعلم تماماً أن هذه التفسيرات الجزئية تعريفات غير نهائية وغير مكتملة، لأن الفيزياء تقوم بتدعيمها، على الدوام، بقوانين حديثة وقواعد عملية حديثة. ولا نهاية لهذه العملية في الفيزياء المنظورة، لأنها بعيدة عن التوصل إلى مجموعة كاملة متطورة من الاجراءات، ولذلك ينبغي أن نقنع بالحصول على تفسيرات جزئية فقط، وغير مكتملة لجميع المصطلحات النظرية. ويُضمّن العديد من الفلاسفة حدوداً مثل «الطول» في مفردات ملاحظة، وقياسها يمكن أن يتم باجراءات بسيطة ومباشرة. وإنني لا أفضل تصنيفها على هذا النحو. صحيح أننا نقول في لغة الحياة اليومية «ان طول حافة هذه المنضدة ثلاثون بوصة» ونستخدم «الطول» بمعنى يمكن تعريفه عن طريق اجراء قضيب القياس البسيط. ولكن هذا هو المعنى الضيق فقط من المعنى الكلي الشامل لمفهوم الطول. فهو المعنى الذي ينطبق فقط على مدى معين متوسط من القيم التي ينطبق عليها تقنية قضيب القياس. ولا يمكن أن يطبق على المسافة التي تقع بين مجرتين أو بين جزيئين من جزئيات المادة. ومن الواضح حتى الآن أننا نحتفظ في ذهننا بنفس المفهوم عن الحالات الثلاث. وبدلاً من القول ان لدينا العديد من المفاهيم عن الطول، وأن كل منها يتم تعريفه باجراء عملي مختلف، فإنني أفضل القول ان لدينا مفهوماً واحداً عن الطول يتم تعريفه جزئياً عن طريق نظام كامل للفيزياء، يشتمـل على قواعد لجميع الاجراءات العملية المستخدمة في قياس الطول.

ويصدق نفس الشيء على مفهوم الكتلة. فإذا كنا نحصر معناه في تعريف يشير إلى توازن كفتي ميزان، لأمكننا أن نطبق الحد Term على مدى صغير متوسط من القيم. ولا يمكننا أن نتحدث عن كتلة القمر أو جزيء أو حتى كتلة جبل أو منزل. إذ لا بد أن نميز بين عدد من المقادير المختلفة، كل منها بتعريفها العملي الخاص. وفي الحالات التي يمكن أن نطبق فيها منهجين مختلفين لقياس كتلة نفس الموضوع، نقول في تلك الحالات ان للمقدارين الحادثتين نفس القيمة. وسوف يؤدي كل هذا، في رأيي، إلى طريقة في الحديث شديدة التعقيد. ومن الأفضل، فيما يبدو، أن نتبنى الصيغة اللغوية التي يستخدمها معظم الفيزيائيين، وننظر إلى الطول، والكتلة وما إلى ذلك بوصفها مفاهيم نظرية، وليست متعلقة بالملاحظة، يتم تعريفها باجراءات قياس معينة.

هذه الاطروحة ليست أكثر من موضوع تفضيل في اختيار لغة فعالة. فليس ثمة طريق واحد لبناء لغة العلم، وإنما هناك مئات الطرق المختلفة. ويمكنني أن أقول فقط أنه من وجهة نظري، فإن هذه الاطروحة الخاصة بالمقادير الكمية تتصف بالعديد من المزايا. الا أنني لم أكن أتبنى على الدوام وجهة النظر هذه، بل كنت، في وقت ما اتفق مع العديد من الفيزيائيين، على النظر إلى مفاهيم الطول والكتلة وما اليهما بوصفها «خاضعة للملاحظة» ـ حدود في لغة يمكن ملاحظتها، ولكنني كنت أميل أكثر فأكثر إلى توسيع دائرة اللغة النظرية حتى تتضمن مثل هذه الحدود. وسوف نناقش اخيراً الحدود النظرية بتفصيل أكثر. أما الآن فإنني اريد أن أوضح أنه لا ينبغي ـ من وجهة نظري ـ التفكير في الاجراءات المتعددة للقياس بوصفها مقادير معرفة بأي معنى نهائي، لأنها مجرد حالات خصوصية أطلق عليها اسم «قواعد المطابقة» Correspondence Rules لأنها تساعد على ربط حدود اللغة الملاحظة مع حدود اللغة النظرية.

الفصل الحَادي عَشَرَ

فوائد المنهَج الكَمي

لا تستمد المفاهيم الكمية من الطبيعة، وإنما تنشأ من ممارستنا لتطبيق لأعداد على الظواهر الطبيعية. فما هي الفوائد التي تعود علينا من ذلك؟ إذا كانت المقادير الكمية مستمدة من الطبيعة، لما استطعنا أن نسأل سؤالاً أكثر من هذا السؤال: ما هي فوائد الألوان؟ ربما لم يكن للطبيعة ألوان، ولكن لحسن الحظ أن نجدها في العالم، انها ببساطة جزء من الطبيعة، ولا يمكننا أن نتصرف حيالها أي تصرف. أما فيما يتعلق بالمفاهيم الكمية، فإن الموقف يختلف، لأنها جزء من لغتنا، وليست جزءاً من الطبيعة. نحن الذين نقوم بتقديمها، ولذلك يحق لنا أن نتساءل لماذا نقوم بتقديمها، لماذا نتكبد كل هذه المتاعب في ابتكار القواعد والمسلمات المعقدة لكي نحصل أخيراً على مقادير يمكن قياسها بمقاييس عددية؟

لا بد أننا نعرف جميعاً اجابة هذا السؤال. لقد قلنا مراراً وتكراراً إن التقدم الهائل للعلم، وبصفة خاصة في القرون الماضية، لم يكن متاحاً بدون استخدام المنهج الكمي (ولقد كان جاليليو هو أول من أدخل هذا المنهج بطريقة محكمة. ولا شك أن آخرين قد استخدموا هذا المنهج قبل ذلك، ولكن اليه يرجع الفضل في اعطاء قواعد واضحة له). ولا زالت الفيزياء تسعى، كلما أمكنها ذلك، إلى إدخال مفاهيم كمية. ولقد حذت علوم أخرى حذوها في العقود الأخيرة. ولا يداخلنا أدنى شك في أن هذا كله مفيد، ولكن من الأفضل لنا أن نعرف، وبدقة تفصيلية أكبر، أين تكمن مثل هذه الفوائد .

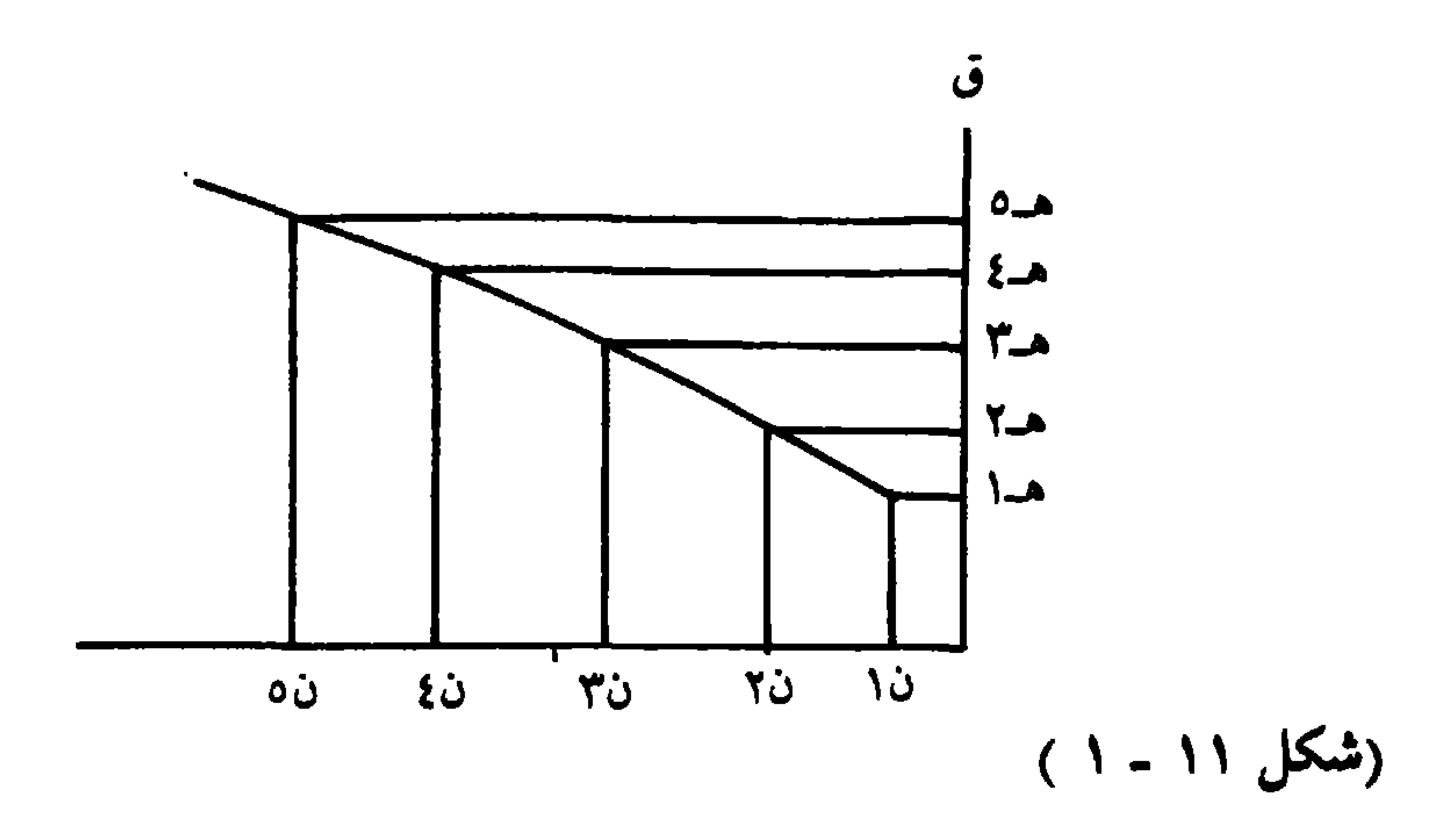
أولاً وقبل كل شيء، هناك زيادة كبيرة في فعالية مفرداتنا، وبرغم أن هذه الفائدة تعد ضئيلة الشأن، الا أننا كنا قبل أن ندخل مفهوم الكم، نستخدم العديد من الألفاظ أو الصفات

الكيفية المختلفة ليتسنى لنا وصف الحالات الممكنة المتعددة لمقدار موضوع ما. إذ كنا، في غياب مفهوم درجة الحرارة مثلاً، نتحدث عن شيء ما بوصفه: «ساخن جداً» أو «ساخن» أو «دافىء» أو «فاتر» أو «بارد نوعاً ما» أو «بارد» أو «بارد جداً»، وهكذا. وهذا هو ما نطلق عليه اسم المفاهيم التصنيفية. فإذا كان لدينا مئات قليلة من تلك الصفات، ربما تصورنا أنه ليس ضرورياً، بالنسبة لأغراض الحياة اليومية المتعددة، أن ندخل المفهوم الكمي لدرجة الحرارة. وبدلاً من قولنا «انها اليوم ٩٥ درجة» نطلق صفة طريفة تشير بدقة إلى درجة الحرارة هذه، وبالنسبة للمائة درجة نطلق صفة أخرى، وهكذا.

ولكن ما هي الصعوبة الكامنة في هذه الطريقة؟ أولاً سيكون من الصعب جداً على ذاكرتنا ليس فقط أن تحتفظ بعدد كبير من الصفات المختلفة، وإنما أيضاً أن تتذكر انتظاماتها، ولذلك سيكون علينا أن نعرف ما إذا كان هذا اللفظ المعين يشير إلى شيء أعلى أو أخفض من شيء آخر، ولكن إذا أدخلنا مفهوماً واحداً لدرجة الحرارة بحيث يرتبط هذا المفهوم بحالات جسم ما عن طريق الأعداد، فلن يكون علينا سوى أن نتذكر لفظاً واحداً فقط، ونعوّض انتظام المقدار في الحال عن طريق انتظام الأعداد. صحيح أننا ينبغي أن نتذكر الأعداد سلفاً، ولكن هذا يسير يمكننا فعله في أي وقت، كما يمكننا أن نطبق الأعداد على أي مقدار كمي. وإلا لكان علينا أن نتذكر مجموعة مختلفة من الصفات تناسب كل مقدار وتصلح لكل حالة، بل وأن نتذكر انتظامها النوعي. هذه الفائدة تعد ثانوية للمنهج الكمي.

أما الفائدة الرئيسية، وكما رأينا في الفصول السابقة، هي أن المفاهيم الكمية تسمح لنا أن نصوغ قوانين كمية. ومثل هذه القوانين بوصفها وسائل لتفسير الظواهر تعد أكثر قوة إلى حد بعيد، كما أنها تعد وسيلة فعالة للتنبؤ بظواهر جديدة. أما اللغة الكيفية، فحتى في حالة اثراء مثل هذه اللغة فإن ذاكرتنا لن تنوء فقط بحمل المئات من الصفات الكيفية، وإنما سنواجه أيضاً بصعوبة بالغة في التعبير حتى عن أبسط القوانين.

أفترض مثلاً أن لدينا موقفاً تجريبياً نلاحظ فيه أن مقداراً معيناً م يعتمد على مقدار معين آخر ق. نرسم هذه العلاقة رسماً بيانياً، فيعطينا المنحنى المبين في الشكل (١١ ـ ١). نضع المقدار م. على الخط الأفقي لهذا الرسم، ونفترض له القيم ن١، ن٢ . . . وبالنسبة لقيم المقدار م نتخذ قيماً للمقدار ق، ولتكن هـ١، هـ٢ . . . وبعد وضع النقاط التي تشير إلى قيم كل منها على الرسم البياني، نصل هذه النقاط بمنحنى بسيط وربما يتخذ خطاً مستقيماً، وفي هذه الحالة نقول ان



(شكل ١١ - ١)

م دالة خطية A Linear Function لـ ق. ونعبر عن هذا بأن ق = أ م + ب بحيث تكون أ، ب متوازيين ثابتين في الموقف المفترض. أما إذا اتخذت النقاط درجة المنحنى الثاني فإننا نحصل على دالة تربيعية A Quadratic Function. وربما تكون م لوغارتما لـ ق، أو ربما تكون دالة معقدة أكثر بحيث ينبغي أن نعبر عنها في حدود من الدوالي البسيطة المتعددة. وبعد أن نحدد الدالة الملائمة نجري اختباراً عن طريق تكرار المشاهدات لنتأكد من أننا قد وجدنا بالفعل دالة تمثل قانوناً كلياً مرتبطاً بالمقدارين.

ماذا يحدث في هذا الموقف إن لم يكن لدينا لغة كمية؟ افترض أن لدينا لغة كيفية شديدة الثراء في مفرداتها مثلما هو موجود في اللغة الانجليزية الحالية. فهل نستطيع الحصول على الفاظ تشير إلى «درجة الحرارة» في لغتنا الكمية. إن كل ما نستطيع الحصول عليه في الحقيقة إنما هو بعض الصفات المتوسطة التي تطلق على كل كيف، وأن تكون هذه الصفات منتظمة بدقة. وبدلاً من القول من مشاهدتنا الأولى أن م = ن١، سوف نقول أن الموضوع الذي شاهدناه هو كذا مستخدمين هنا واحدة من الصفات المتوسطة التي تشير إلى م. وبدلاً من القول ان ق = هـ١ سيكون لدينا جملة أخرى تستخدم فيها واحدة من الصفات المتوسطة التي نستدل بها على كيفية ق. وبتعبير أدق لن تنطبق الصفتين على النقاط التي على محاور رسمنا البياني، ولن يكون في مقدورنا أن نحصل على صفات كافية نقوم بتطبيقها على جميع النقاط التي على الخط، وإنما كل ما سوف نحصل عليه هو فواصل بطول كل خط. وسوف تشير الصفة مثلاً، إلى فاصل يحتوي على ن١. وتنطبق الفواصل المتوسطة التي على طول محور م على صفاتنا المتوسطة لـ م، وقد لا يكون لهذه الفواصل حدود فاصلة أو قد تتداخل إلى حد ما. ومن ثم لن نستطيع أن نعبر - عن طريق هذه اللغة - عن قانون بسيط يأخذ مثلاً الصورة ق = أ + ب م + جـ م٢. قد نستطيع مثلاً

أن نحدد على وجه الدقة كيف نزواج بين صفة متوسطة لـ م مع صفة متوسطة لـ ق، ولكن لا نستطيع أن نعبر عن هذا القانون البسيط .

وبتحديد أكثر، افترض أن م تشير إلى كيفيات تعبر عن السخونة، وتشير ق إلى الألوان، فإن القانون الذي يربط بين هاتين الكيفيتين سوف يتألف من مجموعة من القضايا الشرطية المتوسطة التي تأخذ الصورة «اذا كان الموضوع ساخناً جداً جداً جداً (وبالطبع سيكون لدينا صفة واحدة للتعبير عن هذا)، اذن لكان لونه احمر ساطعاً، ولدينا بالفعل في اللغة الانجليزية عدد كبير جداً من صفات الألوان، ولكن ذلك هو المجال الوحيد تقريباً من الكيفيات الذي يمكننا أن نجد له العديد من الصفات. أما فيما يتعلق بمعظم المقادير في الفيزياء، فلن نجد سوى أقل القليل من الصفات المعبر عنها في لغة كيفية. ومن ثم يصبح القانون المعبر عنه في لغة كمية أقصر، وأبسط كثيراً من التعبيرات المرهقة التي يمكن أن نتزود بها إذا ما حاولنا أن نعبر عن نفس القانون بألفاظ كيفية. وبدلاً من صياغة معادلة واحدة بسيطة وموجزة، سوف نضطر إلى صياغة العديد من قضايا «إذا. . اذن» يتألف كل منها من محمول فئة مع محمول فئة أخرى .

ومع ذلك فإن الميزة الكبرى للقانون الكمي، ليست في كونه موجزاً، ولكن في كونه سهل الاستخدام. فما ان يكون لدينا قانون في صيغة عددية، حتى يمكننا أن نستخدم ذلك الجزء القوي من المنطق الاستنباطي الذي نسميه رياضي، وبهذه الطريقة نتمكن من عمل تنبؤات. وبالطبع يمكن للمنطق الاستنباطي، في حالة اللغة الكيفية أن يستخدم لعمل تنبؤات أيضاً، كأن نستنبط من المقدمة «هذا الجسم ساخن جداً جداً جداً» التنبؤ «هذا الجسم أحمر ساطع»، ولكن هذا الاجراء مرهق جداً بالمقارنة بطرق الاستنباط القوية والملائمة التي هي جزء من الرياضيات .

هذه هي اذن الميزة الكبرى للمنهج الكمي. فهو يسمح لنا بأن نعبر عن القوانين في صيغة تستخدم الدوالي الرياضية التي يمكننا، عن طريقها، أن نقوم بعمل تنبؤات أكثر كفاية واحكام .

لا شك أن هذه الفوائد عظيمة إلى الدرجة التي لا يمكن لأحد أن يفكر في اقتراح يدعو فيه أن تتخلى الفيزياء عن اللغة الكمية والعودة إلى اللغة الكيفية قبل العلمية. ومع ذلك ففي الأيام المبكرة للعلم، عندما كان جاليليو يحسب السرعات التي تسقط بها الكرات على أسطح مستوية، مائلة، أو دورات بندول، كان هناك من يتساءل: «ما هي الفائدة التي تعود علينا من كل هذا؟ وكيف يساعدنا ذلك في الحياة اليومية؟ ما أهمية أن نعرف ما يحدث للأجسام عند سقوطها في مسار ما، صحيح أنه في بعض الأحيان، عندما انزع قشرة بصلة، فهي تسقط من على منضدة

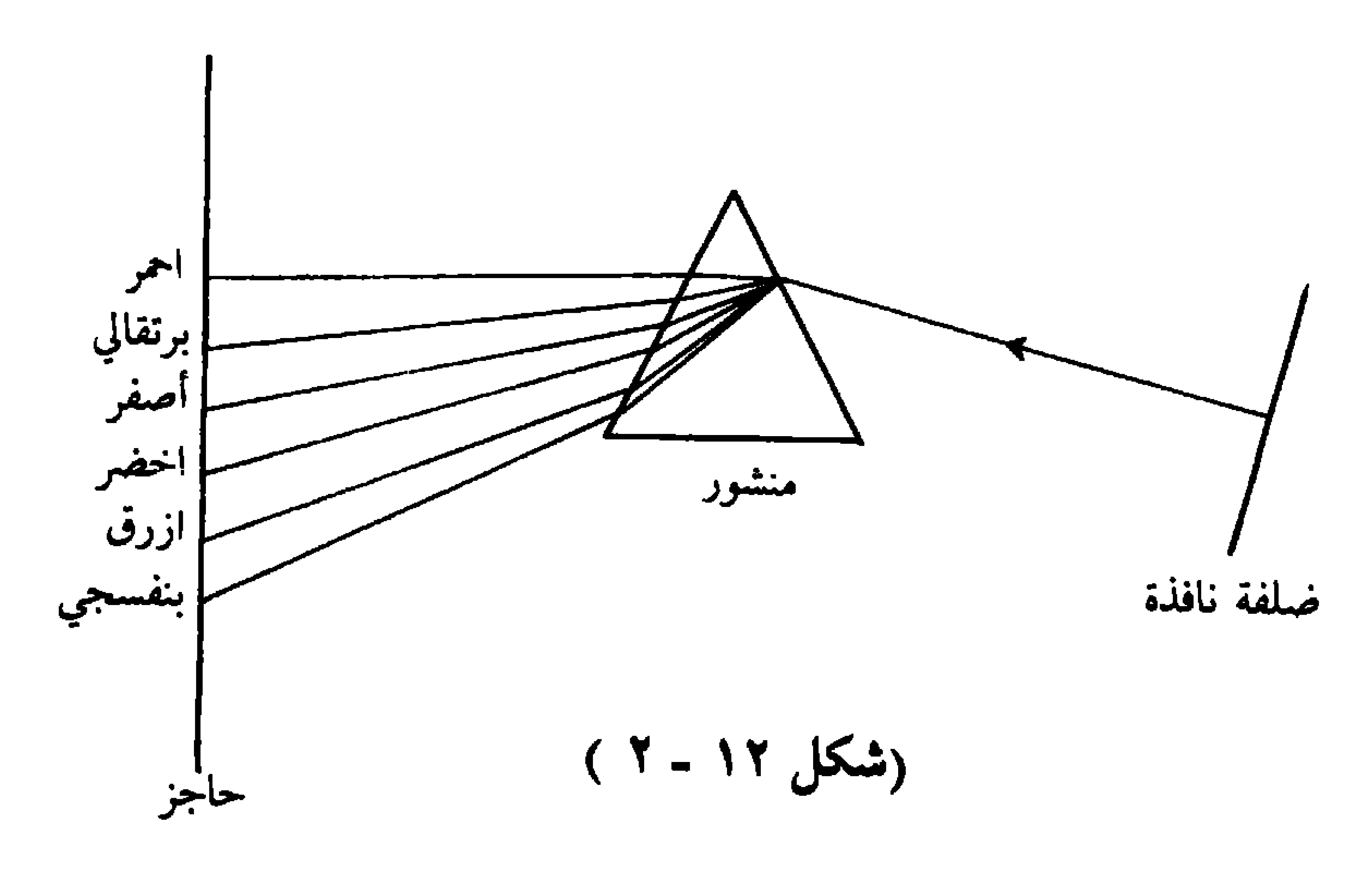
مائلة، ولكن ما قيمة حساب تسارعها الدقيق؟ وما هو الاستخدام العملي الذي يمكن أن يعود علينا من مثل هذه المعرفة المكتسبة؟» .

واليوم، لا نجد من يتحدث بمثل هذه الطريقة، لأننا جميعاً نستخدم عشرات الأدوات المعقدة ـ سيارة، ثلاجة، جهاز تلفاز ـ ونعلم علم اليقين أنها لم تكن ممكنة إذا لم تتطور الفيزياء بوصفها علماً كمياً. ولقد تبنى صديق لي يوماً ما اتجاهاً فلسفياً يرى في تطور العلم الكمي أنه شيء يؤسف له، لأنه يؤدي إلى آلية الحياة. وكان ردي على هذا هو، أنه إذا اراد أن يتمسك بهذا الاتجاه عليه ألا يستخدم أبداً طائرة أو سيارة أو هاتفاً حتى يكون متوافقاً مع نفسه. لأن التخلي عن العلم الكمي يعني التخلي عن جميع تلك الاختراعات التي أتت بها التكنولوجيا الحديثة. وأعتقد أن القليل من الناس هم الذين يرغبون في ذلك .

وعند هذه النقطة نعرض لانتقاد آخر يوجه إلى المنهج الكمي، وهو يختلف عما سبقه إلى حد ما، لأنه يتعلق بطريقة فهمنا للطبيعة. فهل من الصحيح أن هذا المنهج يساعدنا على فهم الطبيعة؟ إنه يمكننا بالطبع من وصف الظواهر في حدود رياضية، والقيام بعمل تنبؤات، واختراع آلات معقدة. ولكن أليس ثمة وسائل أفضل نحصل عن طريقها على معرفة حقيقية بأسرار الطبيعة؟ الا يمكن أن نصل إلى كنه الطبيعة عن طريق المعرفة المباشرة، أي عن طريق الحدس؟ أثار مثل هذه التساؤلات أعظم شعراء الألمان، وهو جوته Goethe بغية انتقاد المنهج الكمي. وربما يعرف عنه القارىء أنه كاتب دراما وشعر فقط، ولكن الحقيقة أنه كان كثير الاهتمام بنواح معينة من العلم، وبصفة خاصة البيولوجيا ونظرية الألوان. ولقد ألف كتاباً ضخماً عن نظرية الألوان. وكان يعتقد في ذلك الوقت أن هذا الكتاب أكثر اهمية من جميع أعماله الشعرية كلها .

ويتناول الجانب الأعظم من كتاب جوته التأثيرات السيكلوجية للألوان، وقد قدمه بشكل نسقي رائع، وكان في الحقيقة مثيراً للغاية. فلقد كان جوته شديد الحساسية فيما يتعلق بتجاربه، لهذا السبب، كان مؤهلاً تماماً لمناقشة كيفية تأثر أمزجتنا بالألوان المحيطة بنا. إن أقل الذين يعملون بالزخرفة شأناً يعرفون بالطبع هذه التأثيرات، إذ ان اللون الأصفر والأحمر يعد منبهاً جيداً، كما أن الألون الخضراء والزرقاء لها تأثير هادىء. وعندما نختار الألوان لحجرات النوم أو المعيشة فإننا نحتفظ في ذهننا بتلك التأثيرات السيكلوجية. ولقد تناول كتاب جوته أيضاً النظرية الفيزيائية للون، ناقش خلالها النظريات السابقة للون من منظور تاريخي، وتوقف بصفة خاصة عند نظرية نيوتن. ولم يتفق من حيث المبدأ مع تناول نيوتن بشكل كامل. إذ انه قد اقتنع بأن ظواهر الضوء في كل أشكاله، وبصفة خاصة في اشكاله اللونية، ينبغي ملاحظتها فقط تحت أكثر

الشروط طبيعية. وكان عمله في البيولوجيا قد أدى به إلى أن يستنتج أنه إذا أردت أن تكشف عن ميزة حقيقية لشجرة بلوط أو ثعلب، فما عليك إلاّ أن تلاحظ الشجرة والثعلب في بيئتهما الطبيعية. ولقد نقل جوته هذه الفكرة إلى الفيزياء. فإذا أراد شخص ما أن يشاهد عاصفة رعدية، فإن أفضل شيء يفعله هو أن يخرج أثناء العاصفة الرعدية وينظر إلى السماء، ويفعل نفس الشيء مع الضوء والألوان. فلا بد للمرء أن يشاهدهما وهما يحدثان في الطبيعة. أن يرى الطريقة التي يتخلل بها ضوء الشمس السحاب، وكيف تتغير ألوان السماء عندما تغرب الشمس. طبق جوته هذه الطريقة، ووجد انتظامات معينة، ولكنه عندما قرأ كتاب نيوتن المشهور «البصريات» Opticks واطلع على تقرير نيوتن بأن الضوء الأبيض الصادر عن الشمس إنما هو مركب من جميع ألوان الطيف، أعلن سخطه الشديد على نيوتن. لماذا كان جوته ساخطاً؟ لأن نيوتن لم يشاهد الضوء في ظروف طبيعية، وإنما أجرى تجربته الشهيرة وهو قابع في منزله وفي حوزته منشور. فلقد اظلم معمله وقطع شقاً طولياً في مصراع نافذة (أنظر الشكل ١١ ـ ١) بحيث لا يسمح هذا الشق الضيق الا بدخول شعاع بسيط من ضوء الشمس في الحجرة. ولقد لاحظ نيوتن أنه عند مرور هذا الشعاع من خلال منشور فإنه يلقي على الحاجز بعدد من الألوان المختلفة التي تقع ما بين الأحمر والبنفسج، وأطلق على هذا الانموذج اسم الطيف Spectrum. وبقياس زوايا الانكسار على المنشور، استنتج اختلاف هذه الزوايا لاختلاف الألوان، فكان أقلها للأحمر وأكبرها للبنفسجي. وقاده هذا إلى الافتراض بأن المنشور لم ينتج الألوان، وإنما هو مجرد مفرق للألوان المتضمنة في الشعاع الأصلي لضوء الشمس، وقام باثبات هذا الافتراض عن طريق تجارب أخرى.



(شكل ١٢ ـ ٢)

وجه جوته العديد من الاعتراضات لفهم نيوتن العام للفيزياء، واتخذ هذه التجربة مثالاً

واضحاً لاعتراضاته. فقد أعلن أننا إذا حاولنا فهم الطبيعة، فلا بد أن نثق أكثر بالانطباع اللحظي الذي تستقبله حواسنا، وليس بالتحليل النظري. لأن اللون الأبيض يبدو لنا بوصفه لوناً بسيطاً تماماً، أنه عديم اللون، وينبغي أن نقبله كذلك، لا نستحضره بوصفه مؤلفاً من عدة ألوان. كما رأى جوته أيضاً أنه من الخطأ أن ننظر إلى ظاهرة طبيعية، كضوء الشمس مثلاً، تحت شروط اصطناعية تجريبية، فإن أردت أن تفهم ضوء الشمس، فلا ينبغي عليك أن تظلم حجرتك، ولا تسمح الا بشعاع ضوء بسيط يتخلل من ضلفة ضيقة، وإنما ينبغي أن تخرج تحت سماء مكشوفة، وأن تتأمل كل الظواهر اللونية الأخاذة كما تبدو لك في أوضاعها الطبيعية. وأخيراً كان جوته متشككاً من جدوى المنهج الكمي. فهو قد سلم بأننا إذا كنا بصدد اجراء قياسات دقيقة للزوايا أو المسافات أو السرعات أو الأوزان. . . الخ وقمنا عندئذ باجراء حسابات رياضية تعتمد على نتائج هذه القياسات، فربما يكون هذا مفيداً لأغراض تقنية بحتة، أما الذي تشكك فيه فهو ما إذا كانت هذه هي الطريقة المثلى لبلوغ الهدف الذي نسعى اليه، ألا وهو الرغبة في اكتساب تبصر حقيقي لمجريات الطبيعة. الحقيقة ان موقفنا الحالي من المناقشة التي كانت دائرة بين المنهج النيوتوني التحليلي ـ التجريبي الكمي، وبين أطروحة جوته الخاصة بالحدس الكيفي الفينومينولوجي المباشر هو أن طريقة جوته لم تنتصر في الفيزياء فحسب، وإنما هي تحرز انتصارات أخرى في مجالات متعددة من العلم، وتكتسب كل يوم أرضاً جديدة حتى في نطاق العلوم الاجتماعية. كما أن من الواضح اليوم أن التقدم العظيم الذي أحرزته الفيزياء بصفة خاصة في القرون الأخيرة، لم يكن له أن يتحقق دون استخدام المناهج الكمية.

ومن ناحية أخرى، لا يمكننا أن نغفل القيمة الكبرى للمنهج الحدسي الذي قال به جوته والذي أدى إلى اكتشافات جديدة، وتطوير نظريات حديثة خاصة في مجالات المعرفة الحديثة نسبياً. كما أن طريقة جوته الخاصة بالتخيل الفني المرتبط بالملاحظة الحذرة جعلته يكتشف حقائق جديدة هامة في المورفولوجيا(*) المقارنة للكائنات النباتية والحيوانية. وكانت بعض هذه الاكتشافات بمثابة مقدمة لا غنى عنها في توجيه نظرية التطور لداروين (ولقد شرح هذا الفيزيائي والفسيولوجي الالماني العظيم هيرمان فون هيلمهولتز H. V. Helmholtz في محاضرة ألقاها عام ١٨٥٣ بعنوان حول دراسات جوته العلمية. ولقد اثنى هيلمهولتز بشدة على عمل جوته في البيولوجيا، ولكنه انتقد نظريته في الألوان. وفي ملحق للمحاضرة ظهر عام ١٨٧٥، بين أن بعض افتراضات جوته قد تم اثباتها في ذلك الوقت عن طريق نظرية داروين).

(*) فرع من علم الأحياء يبحث في شكل الحيوانات والنباتات وبنيتها. (المترجم).

وربما يكون من المثير أيضاً أن نذكر أنه في منتصف القرن الماضي، كتب الفيلسوف ارثر شوبنهور Arther Schopenhauer مقالة قصيرة عن الرؤية والألوان، اتخذ فيها موقفاً مؤيداً لجوته وجعله على صواب دائماً، أما نيوتن فقد جعله خاطئاً تماماً وذلك في جدالها التاريخي. وأدان شوبنهور ليس فقط تطبيق الرياضيات على العلم، وإنما أيضاً تكنيك البراهين الرياضية، وأطلق عليها اسم «براهين مصيدة الفئران». ولقد ذكر كمثال لذلك البرهان الخاص بنظرية فيثاغورس المألوفة. فذهب إلى أن هذا البرهان صحيح، وليس في مقدور أي شخص أن يكذبه ويعلن خطأه. ولكن الطريقة التي يتم بها التعليل في هذا البرهان، إنما هي طريقة اصطناعية تماماً، فأنت تنقاد خطوة خطوة بقناعة تامة، وعندما تصل إلى نتيجة البرهان يداهمك احساس بأنك قد وقعت في مصيدة فئران. فالرياضي يضطرك إلى التسليم بصحة نظريته، ولكنه يفشل في اكسابك أي فهم حقيقي، فتكون كما لو أنك قد انقدت إلى متاهة بخطى واسعة، وتغمغم لنفسك. قائلاً: «نعم، أنا هنا، ولكنني لا اعرف حقيقة كيف أتيت». وفيما يتعلق بتعلم الرياضيات، فإن وجهة النظر هذه تدعونا إلى أن نولي اهتماماً أكبر للفهم الحدسي، لما نفعله في كل خطوة من خطوات البرهان الرياضي، ولماذا اتبعنا تلك الخطوات دون غيرها، ويتم ذلك كله بطريقة من الطرق.

وحتى نتمكن من اعطاء اجابة واضحة عن السؤال الذي يتعلق بحقيقة فقدنا لشيء ما عند وصفنا للعالم عن طريق الاعداد، كما يعتقد بعض الفلاسفة، فإننا ينبغي أن نميز بوضوح بين موقفين لغويين: لغة تهمل بالفعل كيفيات معينة لموضوعات نقوم بوصفها، ولغة يبدو أنها تهمل كيفيات معينة، ولكنها لا تفعل ذلك بالفعل. وانني لعلى يقين من أن كثيراً من الاضطراب الذي يحدث في تفكير هؤلاء الفلاسفة، إنما هو نتيجة مباشرة لفشلهم في عقد هذا التمييز.

و«اللغة» تستخدم هنا بمعنى واسع على غير العادة، إذ انها تشير إلى أي منهج عن طريقه يتم نقل أي معلومة عن العالم ـ بالكلمات، بالصور، بالرسوم البيانية.. الخ. ودعنا نفترض الآن لغة تهمل مظاهر معينة من الموضوعات التي تقوم بوصفها. افترض أنك ترى مجلة مصورة لحي مانهاتن مأخوذة بالأبيض والاسود، ووجدت تحتها هذا التعليق: «صورة ظلية لمباني نيويورك، صورت من الغرب». الحقيقة أن هذه الصورة تنقل لك معلومة عن نيويورك في لغة صورة فوتوغرافية بالأبيض والأسود، وعن طريقها تعلم شيئاً ما عن أحجام وأشكال المباني. والصورة شبيهة بالانطباع المرئي المباشر الذي يمكنك أن تستشعره إذا وقفت حيث تقف الكاميرا ونظرت إلى نيويورك. وذلك بالطبع، هو ما تفهمه في الحال من الصورة، فهي ليست لغة بالمعنى العادي للكلمة، وإنما هي لغة بالمعنى العمومي الأكثر الذي يغطي معلومة، ومع ذلك فإن هذه الصورة

تفتقر إلى مجموعة من الأشياء. أولها أنها لا تعطي بعداً للعمق، كما أنها لا تخبرنا بشيء عن ألوان المباني. ولا يعني هذا أنك لا يمكنك أن تجري استدلالات صحيحة عن العمق واللون. لأنك إذا رأيت صورة لثمرة الكرز مأخوذة بالأبيض والأسود، فإنك تفترض أن ثمرة الكرز ربما كانت حمراء أللون. ولكن هذا مجرد استدلال، لأن الصورة نفسها لا تنقل لون ثمرة الكرز.

والآن دعنا نعود إلى الموقف الذي تبدو فيه الكيفيات وكأنها بلا لغة، وهي في الحقيقة ليست كذلك. افترض أنك ترى لأول مرة صحيفة موسيقية فيها مجموعة من العلامات الموسيقية، ربما تتساءل كطفل، قائلاً: «ما هذه الأشياء الغريبة التي أراها هنا؟ انني أرى خمسة خطوط مستقيمة مرسومة بعرض الصحيفة. وهذه الخطوط مغطاة ببقع سوداء، ولبعض هذه البقع ذيول».

ويقال لك: «إنما هذه هي الموسيقى، وكما ترى إنها متسعة الأصوات بشكل جميل جداً».

وتحتج قائلاً: «ولكنني لا أسمع أي موسيقى».

والحقيقة أن هذه المجموعة من العلامات لم تنقل اتساق الأصوات بنفس الطريقة التي ينقلها لك الحاكي «الفونوغراف» مثلاً. إذ انك لم تسمع شيئاً، وبمعنى آخر فإن مجموعة العلامات لم تنقل درجة النغم ودوام كل نغمة بالطريقة التي يعرف معناها الطفل. وحتى بالنسبة للبالغ، لا يظهر اتساق الأصوات الا بعد أن يكون قد عزفها على بيانو أو سأل شخصاً ما أن يعزفها له، ومع ذلك، فليس ثمة شك في أن أنغام الأصوات متضمنة في مجموعة العلامات الموسيقية، وأننا نحتاج بالطبع إلى مفتاح لنقل هذه العلامات وتحويلها إلى أصوات. وهذا المفتاح ما هو الا القواعد التي تحدد لنا كيفية نقل هذه العلامات إلى أصوات. فإذا كانت هذه القواعد معروفة لدينا، لأمكننا أن نتبين بسهولة تغير الكيفيات التي تبدو عليها الأنغام، ودرجة النغم، ودوامه، بل وحدّته، وهي كلها متضمنة في مجموعة العلامات. وربما كان في امكان موسيقي مدرب أن يقطّع الأنغام، «ويسمع» الأصوات في عقله في الحال. ومن الواضح أن لدينا هنا موقفاً لغوياً، يختلف تماماً عن ذلك المتعلق بالصورة الفوتوغرافية الأبيض والأسود. لأن الصورة تفتقر إلى الألوان بالفعل، أما مجموعة العلامات الموسيقية فيبدو أنها تفتقر إلى الانغام، ولكنها ليست كذلك بالفعل.

أما في حالة اللغة المعتادة، فقد اعتدنا على الكلمات، وغالباً ما ننسى أنها ليست علامات طبيعية. فإذا سمعت كلمة «أزرق»، فإنك تتخيل في الحال اللون الأزرق. وتكون انطباعاً، كالأطفال تماماً، بأن كلمات اللون في لغتنا لا تنقل اللون بالفعل. ومن ناحية أخرى إذا قرأنا

عبارة قال بها فيزيائي بأن هناك تذبذبات كهرومغناطيسياً معيناً ذات شدة وتردّد معينين، فلن نتخيل في الحال اللون الذي يصفه لنا. ومع ذلك إذا عرفت مفتاح التحويل ـ الذي تحدثنا عنه ـ فإنك تستطيع أن تحدد اللون بنفس الدقة، وربما بدقة أكبر مما لو سمعت كلمة اللون. فأنت إذا لم تتعامل بنفسك مع المطياف (منظار التحليل الطيفي)، لكان عليك أن تعرف عن طريق القلب أي الألوان التي تنطبق على أي الترددات. وفي تلك الحالة ربما تدلك عبارة الفيزيائي وفي الحال أنه كان يتحدث عن اللون الأزرق المخضر.

وقد يرسم مفتاح النقل بوسائل عديدة مختلفة. إذ يمكن مثلاً رسم معدل التردد الطيفي المرئي على خريطة، وتنطبق، في الغالب، كلمة اللون الانجليزية بدقة على كل تردد مكتوب بعدها، أو ربما تكون الخريطة ـ بدلاً من كلمات اللون ـ عبارة عن مربعات صغيرة تشتمل على الألوان الفعلية. في كل من الحالتين، يمكنك أن تستدل، بمساعدة المفتاح، وبدقة على اللون الذي يصفه، وذلك عندما تسمع عبارة الفيزيائي الكمية. اذن الكيفية في حالة اللون، لا تفقد مطلقاً عن طريق منهج النقل. والموقف هنا مماثل لمجموعة العلامات الموسيقية، إذ ان هناك مفتاحاً لتحديد تلك الكيفيات، التي تبدو من الوهلة الأولى، كما لو انها محذوفة من مجموعة العلامات. وهي ليست مماثلة للصورة الفوتوغرافية ـ أبيض وأسود ـ التي تكون فيها الكيفيات المعينة محذوفة بالفعل.

وهكذا يبدو أن فوائد اللغة الكمية واضحة إلى الدرجة التي تجعلنا نتعجب من أن العديد من الفلاسفة قد انتقدوا استعمالها في العلم. وفي الفصل الثاني عشر سوف نناقش بعضاً من الأسباب التي حدت بهؤلاء إلى الأخذ بهذا الاتجاه الغريب.

الفصل الثّاني عَشر

النظرة السحريّة لِلّغة

لدي انطباع قوي بأن واحدة من الأسباب التي جعلت بعض الفلاسفة يعترضون على التقرير بأن العلم يعتمد على اللغة الكمية، هي أن علاقتنا السيكلوجية بكلمات اللغة قبل العلمية ـ تلك الكلمات التي سبق أن تعلمناها عندما كنا أطفالاً ـ تختلف تماماً عن علاقتنا السيكلوجية بتلك الأرقام المعقدة التي دلفت أخيراً إلى لغة الفيزياء ـ ومن السهل أن ندرك كيف يمكن للأطفال أن يعتقدوا في كلمات معينة بأنها تحمل بالفعل منطوقها، والكيفيات التي تشير إليها. ولست راغباً في أن أكون غير منصف لفلاسفة معينين، ولكن يداخلني شك في أن هؤلاء الفلاسفة انما يقعون أحياناً في نفس الخطأ الذي يقع فيه الأطفال دائماً فيما يتعلق بردود أفعالهم تجاه الكلمات والرموز العلمية .

وفي الكتاب المشهور الذي قام بتأليفه كل من س. ك أوجدن C. K. Ogden و ي. أ ريتشاردز I. A. Richards «معنى المعنى» «The Meaning Of Meaning»، نجد أمثلة ممتازة، وبعضها طريف للغاية، لما يطلق عليه المؤلفان اسم «سحر الكلمة». إذ ان للعديد من الناس نظرة سحرية للغة، وهي تلك النظرة التي ترى أن هناك ارتباطاً من نوع ما ـ طبيعياً وخفياً ـ بين كلمات معينة (وهي بالطبع الكلمات التي تكون مألوفة فقط) ومعانيها. والحقيقة أن المصادفة التاريخية وحدها، في مسار تطور ثقافتنا، هي التي جعلت لكلمة «أزرق» معنى لونياً معيناً. ففي الالمانية ينطبق هذا اللون «Blau»، وفي لغات أخرى نجد أصواتاً أخرى مرتبطة به. ومن الطبيعي بالنسبة للأطفال الذين اعتادوا على كلمة «أزرق» في لغتهم الأصلية، أن يعتقدوا أنها كلمة طبيعية، في حين أن الكلمات الأخرى لها تعد خاطئة تماماً أو هي غريبة بالتأكيد. ولكن عندما يشبون عن الطوق، يصبحون أكثر تسامحاً، ويقولون: «ربما يستخدم الناس الآخرون

الكلمة «Blau»، ولكنهم يستخدمونها ليعنوا بها شيئاً هو أزرق بالفعل». أما بالنسبة للطفل الصغير فالمنزل هو المنزل، والوردة هي الوردة، ولا شيء غير ذلك .

وبعد ذلك يتعلم أن الناس الغرباء في فرنسا يسمون المنزل «A Maison» وإذا تساءل عن الداعي الذي جعلهم يقولون «Maison» بدلاً من منزل، سيقال له إنها العادة التي جعلتهم يقولون عن المنزل في فرنسا «Maison». فقد رددها الفرنسيون مئات من السنين، ولا ينبغي أن نلومهم على ذلك أو يعتقد انهم أغبياء. ويتقبل الطفل أخيراً هذا التعليل، ويرى ان للناس الغرباء حقاً عادات غريبة. اذن فليستخدموا كلمة «Maisons» ليعنوا بها تلك الأشياء التي هي منازل بالفعل. ويبدو أنه من العسير بالنسبة للعديد من البالغين، كما هو بالنسبة إلى الأطفال، التملص من هذا الاتجاه المتسامح، واكتساب البصيرة بإنه ليس ثمة أي ارتباط أساسي بين الكلمة وما نعنيه بها. وبالطبع لن يصرحوا أبداً بأنْ الكلمة في اللغة الانجليزية هي الصحيحة، بينما الكلمات في اللغات الأخرى خاطئة، ولكن النظرة السحرية التي لازمتهم في طفولتهم هي التي تظل كامنة في تفكيرهم، وفي الغالب، في ملاحظاتهم .

ويقتبس أوجدن وريتشاردز المثل الانجليزي الذي يقول: «The Divine Is Rightly So Called» «الالهي هو ما يقال عنه ذلك بحق». وهذا يعني بوضوح أن الالهي الهي بشكل حقيقي، ولذلك فإن تسميته الهياً صواب تماماً. وعلى الرغم من أن الشخص قد يكون لديه شعور بأن يقال عن شيء ما انه كذلك بحق، الا أن المثل لم يقل في الحقيقة أي شيء على الاطلاق، فمن الواضح أنه فارغ، ومع ذلك يردده الناس دائماً بانفعال قوي، ويعتقدون أنه يعبر بالفعل عن نوع ما من البصيرة النفاذة في طبيعة الالهي .

وهناك مثال آخر أكثر تعقيداً يتعلق بالنظرة السحرية للغة، نجده في كتاب كورت ريزلر Kurt Riezler «الفيزياء والواقع»: محاضرات أرسطو في الفيزياء الحديثة في المؤتمر العالمي للعلم، أولمبياد ٦٧٩ بكمبردج عام ١٩٤٠ ميلادية. يتخيل فيه المؤلف عودة أرسطو إلى الأرض في عصرنا هذا، ويعرض وجهة نظره التي هي وجهة نظر رزيلر أيضاً، وأعتقد أنها نظرة رزيلر وحدها إلى العلم الحديث .

ويبدأ أرسطو بالثناء البالغ على العلم الحديث، فهو معجب بانجازاته العظيمة غاية الاعجاب. وبعد ذلك يضيف قائلاً انه على الرغم من دواعي فخره العظيم به، الا أن لديه أيضاً ملاحظات طفيفة عليه. وهذه الملاحظات هي التي أثارت اهتمامنا هنا. ففي صفحة ٧٠ من كتاب رزيلر، يقول أرسطو للفيزيائيين المجتمعين: «إذا كان اليوم بارداً بالنسبة للزنجي، وحاراً

بالنسبة لأحد الاسكيمو، فإنك لا تستطيع حسم الخلاف بينهما الا إذا قرأت على الترمومتر الخاص بك الدرجة ٥٠ بالمئة» .

ما يريد أن يقوله ريزلر هنا، هو أننا لا نتفق في لغة الحياة اليومية الكيفية على كلمات مثل «حار» و «بارد». فإذا وصل أحد الاسكيمو من جرينلاند إلى البقعة التي تكون عليها درجة الحرارة ٥٠ ، فإنه سوف يقول: «إن هذا اليوم حار نوعاً». أما الزنجي الذي يصل من أفريقيا إلى نفس البقعة فإنه سوف يقول: «انه يوم بارد». ولم يتفق الرجلان على معنى «حار» و «بارد». ويتخيل رزيلر فيزيائياً يقول لهما: «دعونا ننسى هاتين الكلمتين، ونتحدث بدلاً من ذلك عن درجة الحرارة، ونتفق جميعاً على أن درجة الحرارة اليوم هي ٥٠ درجة، عندئذ يمكنكما أن تتوصلا إلى اتفاق» .

ويستمر الاقتباس:

«لا شك أنك فخور جداً بأنك عثرت على حقيقة موضوعية، وذلك بالتخلص من. . .» .

وإنني لأسأل القارىء أن يخمن بنفسه فيما يعتقد رزيلر أن الفيزيائيين قد تخلصوا منه. لا بد أننا نتوقع استمرار العبارة على هذا النحو: «. . . بالتخلص من كلمتي «حار» و «بارد». لأن الفيزيائي لا يتخلص منهما الا بغرض استخدام اللغة الكمية وحدها في الفيزياء. ولكن مع ذلك تظل لغة الحياة اليومية الكيفية مرغوباً فيها، فهي ضرورية حقاً، حتى بالنسبة للفيزيائي الذي يستخدمها لكي يصف ما يراه. ولكن رزيلر لا يستمر في قول ما نتوقعه، وإنما تستمر عبارته في القول: «. . . بالتخلص من كل من الزنجي والاسكيمو» .

وعندما قرأت هذه العبارة لأول مرة، أعتقدت أنه قصد من ذلك أن على الفيزيائي أن يتخلص من الطريقة التي يتحدث بها الزنجي والاسكيمو، ولكن الأمر لم يكن على هذا النحو، وإنما كان رزيلر يعني ما هو أعمق من ذلك. كان يعني أن العلم الحديث ـ من وجهة نظره ـ قد تخلص نهائياً من الانسان. وانه قد تناسى وأهمل كل الجوانب شديدة الأهمية، المتعلقة بالمعرفة الانسانية ـ بالانسان نفسه. فنراه يكتب:

«لا شك أنك فخور جداً بأنك عثرت على حقيقة موضوعية، وذلك بالتخلص من كل من الزنجي والاسكيمو. وإنني لأسلم بأهمية ما قد أنجزته. وأسلم أيضاً بأنك لم يكن في مقدورك أن تشيد آلاتك المدهشة دون التخلص من كل من الزنجي والاسكيمو. ولكن ماذا عن الواقع والحقيقة؟ إنك تماثل بين الحقيقة واليقين. ولكن الواضح أن الحقيقة ترتبط بالوجود، أو قل «بالواقع». قد تكون للحقيقة درجة عالية من اليقين، كالحقيقة في الرياضيات. ولكن صلتها

بالواقع منخفضة جداً. وماذا عن درجة حرارتك الـ ٥٠؟ لأنها صادقة بالنسبة لكل من الزنجي والاسكيمو، تطلق عليها أسم الحقيقة الموضَوعية. أما بالنسبة لي فإن حقيقتك الموضوعية هذه تبدو بائسة وهزيلة إلى أبعد حد. فهي ليست سوى علاقة ارتباط بين درجة الحرارة وتمدد زئبقك، ولا علاقة البتة لهذه الحقيقة بالزنجي أو الاسكيمو. فهي لا تتعلق بشيء سوى بملاحظ مجهول». ويكتب أخيراً: «لا بد أنك تدرك تماماً أن الحرارة والبرودة ٥٠ درجة تتعلق بالزنجي أو بالاسكيمو» .

ولست متأكداً تماماً ما يعنيه بقوله هذا، ربما يعني أنه إذا كان الزنجي والاسكيمو يفهمان ما تعنيه الدرجة ٥٠ لوجب أن تفسر لهما بمصطلحين «الحار» و «البارد» .

«وتقول أن النظام الذي يخضع للملاحظة في حاجة إلى تضخيمه ليشمل الحوادث الفيزيائية التي تقع لكل من الزنجي أو الاسكيمو» .

ويتضح هذا الكلام من رد الفيزيائي على هذه التهمة: «هل نغفل احساسات الحرارة والبرودة التي يشعر بها كل من الزنجي والاسكيمو؟» ويبدو أن رزيلر يعتقد بأن الفيزيائي قد يجيب على هذا السؤال بشيء شبيه بهذا: «كلا. أننا لا نغفل الاحساسات، ولكننا نصف أيضاً الزنجي ذاته والاسكيمو ذاته بوصفهما كائنات عضوية أننا نحللهما بوصفهما نظامين فيزيائين، فسيولوجيين وفيزيائيين، ونكشف ما يحدث بداخلهما، وبهذه الطريقة نتمكن من تفسير لماذا تختلف تجربة الاحساسات التي تؤدي بهما إلى وصف نفس اليوم بأنه «حار» و«بارد» وتستمر الصفحة:

«ذلك أنك تواجه بنظامين، تدرج درجة الحرارة فيهما يكون معكوساً ـ البارد في نظام والدافىء في نظام آخر. ومع ذلك فإن هذا البارد والدافىء لم يعودا كذلك. إذ أنك مثلت الزنجي والاسكيمو في نظامك بحوادث فيزيائية أو كيميائية معقدة، وهما ليسا كائنات في حد ذاتهما وإنما هما كما هما بالنسبة لملاحظ مجهول، مركب من حوادث يمكن وصفها بعلاقات بين كميات يمكن قياسها. وإنني لأشعر أن الزنجي والاسكيمو ممثلان في وصفك بشكل هزيل إلى حد ما. لأنك تلقي بالمسئولية على عاتق التعقيدات الضخمة التي تدخل في مثل هذا النظام». ويشير رزيلر هنا إلى النظام الانساني، إلى العضوية الكاملة التي إذا حاولنا أن نحللها فيزيائياً، لواجهتنا صعوبات لا حد لها .

ويستطرد قائلاً:

«كلا يا سادة، أنكم ترتبون الرموز كما تشاءون، ولكنكم تخفقون في وصف البارد على أنه

بارد والحار على أنه حار» .

وأخيراً وليس آخراً، يظهر هنا شك بسيط في سحر الكلمات! أن الفيزيائي يرتب رموزاً إصطناعية لا تحمل في طياتها أيّة حقيقة عن الكيفيات، وذلك لسوء الحظ بسبب عدم قدرة الفيزيائي على وصف البارد على أنه بارد. أما إذا نقل لنا الاحساس الحقيقي بالبرودة، فإننا سوف نرتجف جميعقا متخيلين البرودة الحقة. أما إذا قال: «كانَ الجو بالأمس حاراً بشكل رهيب». فسوف يعطينا احساساً حقيقاً بالحرارة. هذا هو تفسيري لما يقول به رزيلر. أما إذا رغب القارىء في أن يقدم تفسيراً أفضل فليتقدم به .

وهناك أخيراً (في ص ٧٢) تصريح هام لأرسطو رزيلر: «دعني أعود إلى النقطة التي كنت أناقشها. إن الحقيقة انما هي حقيقة الجواهر. وأنت لا تعرف الجواهر التي تكمن خلف ترمومترك الذي يشير إلى درجة ٥٠، ولكنك تعرف المثيل لكل من الزنجي والاسكيمو. . » .

ويقصد رزيلر «بأنك تعرف المثيل لكل من الزنجي والأسكيمو». إنهما ينتميان إلى الجنس البشري. ولأنك انسان، فلا بد أنك تتقاسم معهما الاحساسات المشتركة.

«. . . اسألهما، اسألوا أنفسكم، اسألوا آلامكم وسروركم، فعاليتكم وتأثيركم. هنالك تعرفون معنى الحقيقة، معنى أن توجد الأشياء متعينة. هنالك تعرفون أنها توجد حقاً» .

انه يعتقد أن الحقيقة الحقة يمكن التوصل إليها فقط عندما نتحدث عن الألم والفرح الشديد، عن الساخن والبارد. وطالما أننا نركن إلى رموز الفيزياء، ودرجة الحرارة وما إلى ذلك، فإن الحقيقة تتلاشى. هذا هو حـكم رزيلر. وإنني لمقتنع بأنه ليس حكماً أرسطياً. إذ أن أرسطو كان واحداً من أعظم الرجال في تاريخ الفكر. وفيما يتعلق بالعلم، كانت له منزلة رفيعة في عصره. بل أنه أجرى بنفسه ملاحظات وتجارب امبيريقية. وإذا قدر له ان يشهد تطور العلم من عصره إلى عصرنا، فإنني لمتأكد بأنه سوف يكون شديد التحمس للطريقة العلمية في التفكير والحديث، وربما كان واحداً من رواد علماء اليوم. ومن ثم فإنني اعتقد بأن رزيلر إنما يظلم أرسطو كثيراً بنسبة هذه الآراء إليه .

ومن الممكن، فيما أظن، أن ريزلر يقصد من ذلك أن يقول فقط بأنه لا ينبغي على العلم أن يركز فقط على المفاهيم الكمية، ويهمل كل تلك المظاهر التي تبدو في الطبيعة، والتي لا تحتمل أن تتحول إلى صياغات دقيقة عن طريق الرموز الرياضية. وإذا كان هذا هو كل مقصده، اذن لكنا قد اتفقنا معه بالطبع. ففي مجال علم الجمال مثلاً، لم يحدث تقدم كبير في تطور المفاهيم الكمية. ولكن يظل من الصعب دائماً أن نقرر سلفاً عدم جدوى ادخال القياس العددي في هذا

المجال، وإنما ينبغي أن نترك هذا الأمر للمشتغلين به. فإذا ارتأوا وسيلة لعمل ذلك بشكل مفيد، ادخلوه. أما أن نثبط الهمة ونصادر على محاولات لم تجر بعد، فهذا ما لا ينبغي علينا فعله. فإذا كنا نستخدم اللغة لأغراض جمالية ـ وليس كمبحث علمي في علم الجمال، وإنما لادخال متعة جمالية فحسب ـ فإننا بالطبع لن نختلف حول عدم ملائمة اللغة الكمية. كما أننا إذا أردنا أن نعبر عن احساساتنا تجاه صديق في رسالة أو في قصيدة من الشعر الغنائي، فمن الطبيعي أن نختار لذلك لغة كيفية. لأننا في حاجة إلى كلمات مألوفة لدينا بحيث يمكنها أن تستدعي في الحال عدداً من المعاني وتداعي الخواطر.

ومن الصحيح ايضاً، أننا نجد في بعض الأحيان، عالماً يهمل اوجها هامة حتى من الظواهر التي يكتب عنها. وغالباً ما يحدث هذا بسبب مسألة تقسيم العمل بين العلماء. إذ ان المتخصص في علم الأحياء يزاول عمله في المعمل بشكل كامل. فنراه يفحص الخلايا تحت ميكرسكوب، ويجري تحليلات كيميائية، وهكذا. أما بالنسبة الى عالم آخر في الأحياء فإننا نجده يخرج الى الطبيعة، يلاحظ كيف تنمو النباتات، وتحت أيّة شروط تبني الطيور أعشاشها، وهكذا. إذن، لكل من الرجلين اهتمامات مختلفة، ولكن المعرفة التي ينشدانها بوسائلهما المختلفة، إنما هي جزء من كل من العلم. ولا ينبغي أن نفترض أن الآخر إنما يجري عملاً عديم الجدوى. وإذا كان مقصد رزيلر هو مجرد تحذيرنا من أن العلم ينبغي عليه أن يحترس من عدم اهمال أشياء معينة. اذن لا يسعنا إلا أن نتفق معه. أما إذا كان مقصده هو القول ـ كما يبدو ذلك ـ بأن اللغة الكمية للعلم إنما تغفل بالفعل كيفيات معينة، فإنني اعتقد أنه خاطىء كل الخطأ.

دعني اقتبس نقداً لكتاب ريزلر، قال به ارنست ناجل E. Nagel: «إن نظريات الفيزياء ليست بديلة عن الشمس والنجوم، كما انها ليست بديلة عن الأنشطة المتعددة الجوانب للأشياء المادية المتعينة. ولكن لماذا يتوقع من أي شخص التحمس الشديد لمجرد خطاب؟».

وكما ترى، فإن ناجل يفسر رزيلر بطريقة أقل تلطفاً حتى مما قد حاولت أن أفعله. وربما يكون على حق. فأنا لست متأكداً من ذلك تماماً. ولكن ناجل يفهم رزيلر بوصفه ناقداً للغة الفيزياء، وبوصفه داعياً إلى نقل كيفيات الألوان التي تشتمل عليها الصورة الملونة بشكل مباشر. أو بالمثل نقل المعلومة التي تتحدث عن الروائح عن طريق رش العطر نفسه، أي باستحضار روائح فعلية، وليس مجرد تسميتها. وربما يقصد رزيلر ـ كما يفهمه ناجل ـ انه ينبغي على اللغة أن تنقل الكيفيات بهذا المعنى القوي، أي باستحضارها. ويبدو أنه يعتقد أن كلمة «بارد» تحمل في طياتها بشكل ما الكيفية الفعلية «للبرودة». ومثل هذه الوجهة من النظر تعد مثالاً بالتأكيد على النظرة السحرية للغة.

القسم الثالث: بُنيَة المَكان

الفصل الثَالث عَشر

مصَادَرة التوازي لإقليدِس

يعد موضوع طبيعة الهندسة في الفيزياء على جانب عظيم من الأهمية في فلسفة العلم ـ وبالمناسبة ـ فإن لي اهتماماً خاصاً بهذا الموضوع ـ إذ انني كتبت اطروحتي في الدكتوراه في هذا الموضوع. وعلى الرغم من أنني منذ ذلك الحين لم أنشر سوى القليل عنه، إلا أنه من الموضوعات التي جعلتني دائم التفكير في إنتاج الكثير حوله.

إذن ما هي الأهمية التي يحتلها؟ أولاً وقبل كل شيء، نجده يتعامل مع تحليل نظام المكان ـ الزمان، الذي يعد بناءً أساسياً في الفيزياء الحديثة. وبالإضافة إلى ذلك تعد الهندسة الرياضية والهندسة الفيزيائية نموذجين ممتازين لوسيلتين مختلفتين بشكل أساسي في اكتساب المعرفة: القبلية والتجريبية. وإذا فهمنا بوضوح التمييز بين هاتين الهندستين، لكانت لدينا بصيرة نفاذة ذات قيمة في المشكلات المنهجية الهامة التي تطرحها نظرية المعرفة.

دعنا ندرس أولاً طبيعة الهندسة الرياضية. إننا نعرف بالطبع أن الهندسة كانت واحدة من الأنساق التي تطورت في عصر مبكر جداً. إلا أننا لا نعرف سوى القليل عن أصولها. ومن المدهش حقاً أن الهندسة في عصر اقليدس كانت منظمة تنظيماً جيداً، وكانت السمة البديهية للهندسة الاقليدية في حد ذاتها ـ اشتقاق النظريات من بديهيات ومصادرات أساسية ـ تعد اسهاماً عظيماً على نحو لافت للنظر، بحيث ظلت تلعب دوراً رئيسياً في معظم المناهج الحديثة التي وضعت أنساقاً رياضية في صياغة دقيقة. ووجه الدهشة هنا هو أن هذا الاجراء كان متبعاً بالفعل في عصر اقليدس. إلا أن واحدة من بديهيات اقليدس، ألا وهي بديهة التوازي، قد سببت للرياضيين قدراً كبيراً من الاضطراب، وذلك لعدة قرون. ويمكننا أن نذكر هذه البديهة على

النحو التالي: إذا رسمنا على أي سطح مستو الخط المستقيم ل، ثم وضعنا النقطة م بحيث لا تكون على ل، ثم رسمنا الخط المستقيم ل١ بحيث يمر على النقطة م، إذن لكان هناك خط واحد فقط يوازي الخط ل. (وتعريف ذلك هو: يتوازى المستقيمان المرسومان على سطح مستو إذا لم تجمعهما نقطة واحدة).

ومع بداية القرن الماضي، كانت هذه البديهة من الوضوح إلى الدرجة التي لم يكن أحد يشك في صدقها على الاطلاق. أما الجدل الذي تركز حولها فلم يكن ابداً حول صدقها، وإنما كان يتركز حول هذا السؤال: هل من الضروري أن تكون بديهة؟ انها تبدو أقل بساطة من بديهيات اقليدس الأخرى. ولقد اعتقد عدد من الرياضيين أنها ربما تكون مبرهنة تم استنباطها من بديهيات اقليدس الأخرى.

ولقد بذلت محاولات متعددة لاشتقاق بديهة التوازي من بديهيات اخرى، وأعلن بعض الرياضيين انهم نجحوا في ذلك. إلا أننا نعلم اليوم أنهم كانوا مخطئين. إذ لم يكن من السهل في ذلك العصر اكتشاف النقص الذي يكتنف كل هذه الاشتقاقات المفترحة، لأنهم كانوا يعتمدون عادة ـ كما هو موجود في مراجع الهندسة في المدارس العليا ـ على الاحتكام إلى الحدس. فإذا رسمنا رسماً بيانياً فإنه لن يكون دقيقاً ابداً، وذلك باعتراف الجميع، إذ ان الخطوط التي نرسمها لا تكون محكمة على الاطلاق. وذلك بسبب كثافة الطباشير على السبورة أو الحبر على الورق. ولكن الرسم البياني يساعد خيالنا، فهو يساعدنا على ان «نرى» صدق ما نرغب في البرهنة عليه. ولقد وضع ايمانويل كانط فلسفة الرؤية الحدسية هذه بشكل نسقي أفضل. ومن ثم فإن الصدق لا يعتمد على انطباعنا الحسي للرسم البياني الفيزيائي، وإنما هو يعتمد بالأحرى على حدسنا الداخلي للاشكال الهندسية التي لا يمكن ان تخطىء. ولقد كان كانط واضحاً تماماً في هذا القول. إذ لاحظ كانط انه لا يمكن لأي فرد ان يتأكد من ان الخطين المنفصلين على السبورة متساويان، أو أن الخط المرسوم بطباشير ومفترض أنه دائرة هو دائرة بالفعل. لأن مثل هذه الرسوم البيانية، إنما هي مجرد عون سيكولوجي فقط. أما قدرتنا على التخيل ـ وهو ما أطلق عليها اسم «Anschauung»، الحدس ـ فهي ضعيفة. ومن ثم تصبح الحقيقة يقينية تماماً ليس عن طريق مشاهدتها بأعيننا بشكل مباشر وإنما إذا تمثلناها بوضوح في عقلنا.

كيف يمكننا أن نحقق اذن القضية الكانطية التي تقرر أنه لا يمكن أن يكون لخطين أكثر من نقطة واحدة مشتركة؟ نرسم صورة للموقف في عقلنا، فنجد أنه يوجد خطان يتقاطعان هنا في نقطة واحدة. فكيف يتقاطعان في نقطة ما أخرى أيضاً؟ ومن الواضح أنهما لن يتقاطعا مرة

أخرى، لأنهما يتباعدان أكثر فأكثر كلما تحركنا بعيداً عن التقاطع. ويبدو من الواضح أيضاً أن لكلا الخطين نقاطهما المشتركة (وذلك في الحالة التي يصبحان فيها خطاً واحداً) أو أن يكون لهما في معظم الحالات نقطة واحدة، أو ربما لا توجد أية نقطة مشتركة. ان هذه الحقائق الهندسية البسيطة التي قال بها كانط، يمكننا أن نراها في الحال. إذ اننا ندرك صدقها حدساً. والحقيقة التي تقرر عدم اعتمادنا على الرسوم البيانية قد أدت بكانط إلى أن يفترض امكان أن تكون لدينا ثقة كاملة في الحقائق المدركة بهذه الطريقة الحدسية. وسوف نعود مرة أخرى إلى وجهة النظر هذه. إذ اننا نذكرها هنا فقط لكي تساعد القارىء على فهم الطريقة التي كان يفكر بها العلماء في الهندسة مع بداية القرن التاسع عشر. وحتى إذا لم يتسن لهؤلاء العلماء قراءة كانط على الاطلاق، لكانت لهم نفس وجهة نظره. وسواء أكانت وجهة نظرهم مأخوذة من كانط، أم كانت مجرد جزء من المناخ الثقافي الذي جعله كانط أكثر وضوحاً فإن هذا لا يهمنا. ولكن الذي يهمنا هو أن كل شخص قد افترض أن هناك حقائق أساسية في الهندسة، وأن هذه الحقائق من البساطة والوضوح بحيث لا يمكن أن يتطرق اليها أدنى شك، وأنه يمكن لأي شخص عن طريق هذه الحقائق البسيطة، التي هي بديهيات الهندسة، أن يمضي خطوة خطوة إلى أن يصل إلى حقائق مشتقة معينة، التي هي المبرهنات .

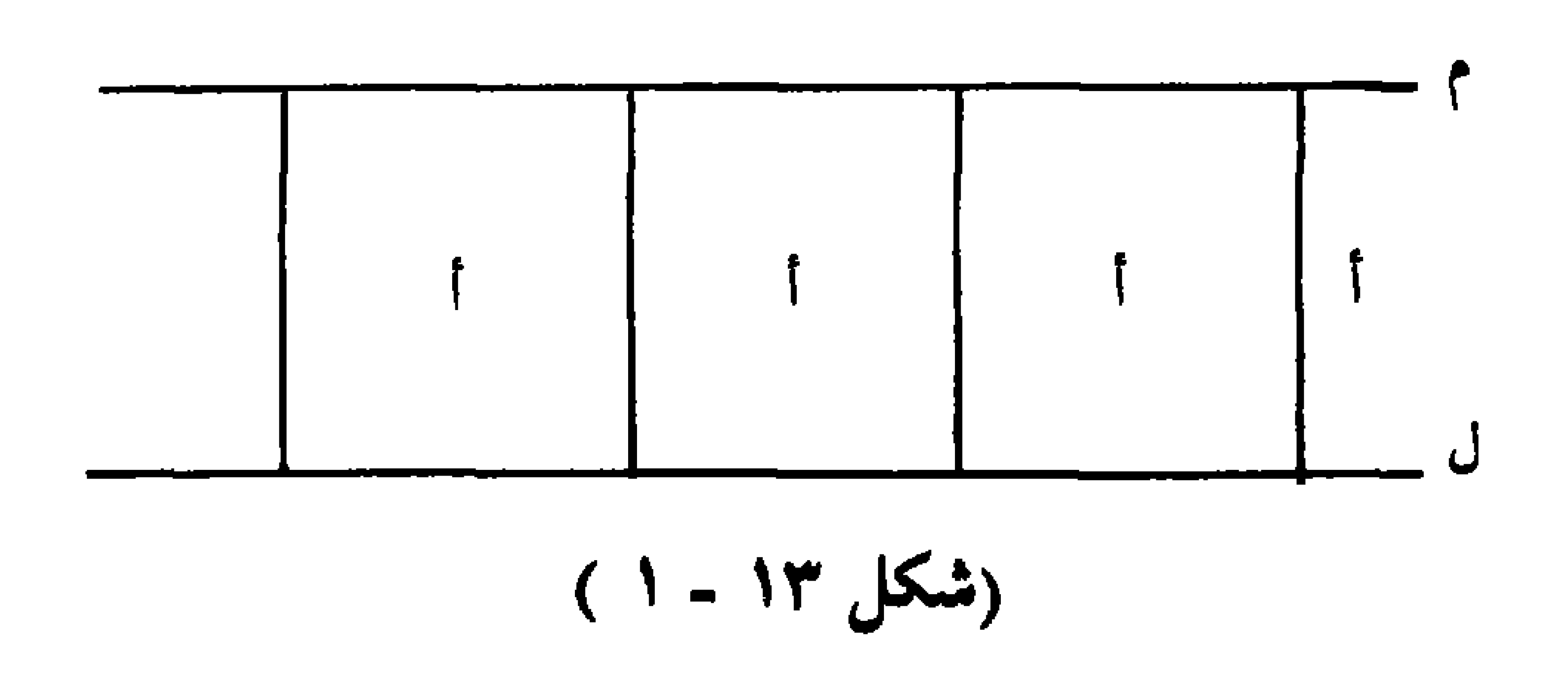
وكما سبق لنا القول، يعتقد بعض الرياضيين انهم قد استطاعوا استنتاج بديهة التوازي من بديهيات اقليدس. فلماذا لم يكن ممكناً، في ذلك الوقت، اكتشاف العيوب في براهينهم؟ تنحصر الاجابة في حقيقة انه في ذلك الوقت لم يكن هنالك منطق قوي بشكل كاف يمكن عن طريقه توفير قواعد منطقية صارمة للبراهين الهندسية. إن الاحتكام إلى التخيل في بعض مواضع من الاشتقاق، كان يتسلل أحياناً على نحو واضح تماماً، وأحياناً اخرى على نحو خفي. اذ لم يكن هناك منهج للتمييز بين الاشتقاق المنطقي الخالص، والاشتقاق الذي تدخل فيه مركبات لا منطقية تعتمد على الحدس. ولم يصبح هذا متاحاً إلا بعد أن تطور المنطق المنظم في النصف الثاني من القرن الأخير. والحقيقة ان الصياغة الرمزية للمنطق الحديث قد زادت من صلاحيته. ولم يكن هذا هو الشيء الأساسي، وإنما الشيء الأساسي هو أولاً أن القواعد لم تعد تذكر إلا بدقة كاملة، وثانياً انه في كل خطوة من خطوات الاشتقاق الكلي، لا يمكن التوصل الى قضية إلا بعد أن تكون قد استنبطت من المقدمات او النتائج التي سبق أن توصلنا اليها عن طريق تطبيق قواعد الاستدلال المنطقي الصارمة. . .

وقبل تطور المنطق الحديث، لم يكن هناك نسق للمنطق، له مجموعة من القواعد بحيث يمكن ملاءمتها مع قواعد الهندسة. إذ ان المنطق التقليدي تعامل فقط مع محمولات ذات مكان

واحد، إلا أننا في الهندسة نتعامل مع علاقات ذات عناصر متعددة. فالنقطة الواقعة علـى خط أو الخط الواقع على سطح، مجرد أمثلة بسيطة لعلاقات ذات مكانين، أما النقطة التي تقع بين نقطتين أخريين فهي علاقة ذات ثلاثة أمكنة. ومن ثم ينبغي أن نحسب التطابق بين جزئي الخط بوصفه علاقة ذات مكانين، ولكن لأنه لم يكن من المعتاد النظر إلى أجزاء الخط بوصفها كيانات أولية، فقد كان يفضل تمثيل جزء الخط على اعتبار أن له زوجين من النقاط. وفي هذه الحالة يكون التطابق بين جزئي الخط علاقة بين زوج واحد من النقاط «One Point - Pair»، وزوج آخر من النقاط، و بكلمات أخرى تصبح علاقة ذات أربعة امكنة بين النقاط وكما ترى فإن الهندسة تحتاج إلى منطق للعلاقات، هذا المنطق لم يكن له وجود في ذلك الوقت الذي نتحدث عنه. وعندما أصبح هذا المنطق منتشراً، فقد أمكن اماطة اللثام عن النقائض المنطقية في البراهين المتعددة التي كانت مفترضة لبديهة التوازي. ففي نقطة ما من كل حجة، كانوا يحتكمون إلى مقدمة اعتمدت على الحدس، ولم يتمكنوا من اشتقاقها منطقياً من بديهيات اقليدس الأخرى. والشيء المثير للانتباه هو أن المقدمة الحدسية، تصبح في كل حالة بديهة للتوازي ذاتها، وإنما في شكل متنكر.

وهذا مثال للبديهة المتنكرة المكافئة لبديهة التوازي.

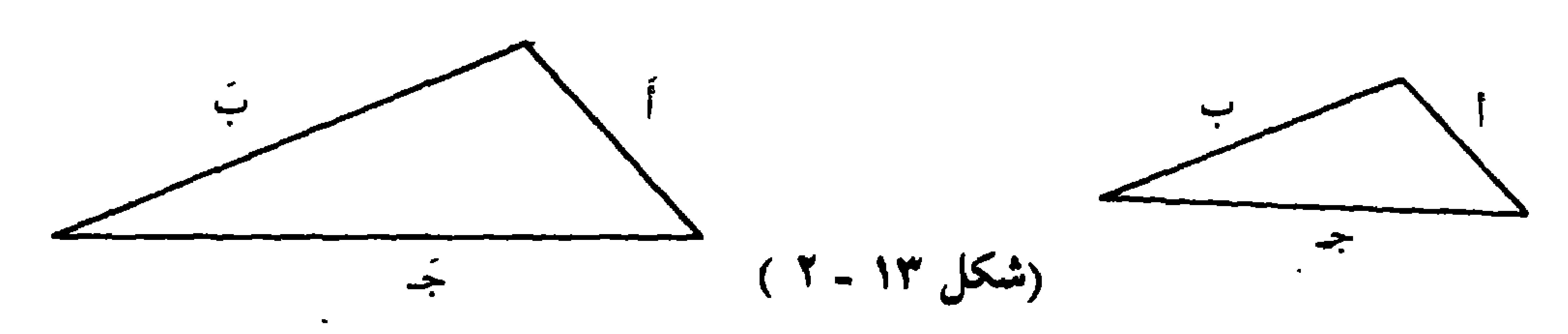
إذا رسمنا الخط المستقيم ل على سطح مستو، ثم رسمنا المنحنى م، وكانت النقاط التي على م تأخذ نفس مسافة النقاط التي على ل، اذن لكان الخط م خطاً مستقيماً أيضاً. ويبين هذا الشكل (١٣ ـ ١)، حيث تمثل أ المسافة الثابتة من ل إلى كل النقاط التي على م.



(شكل ١٣ ـ ١)

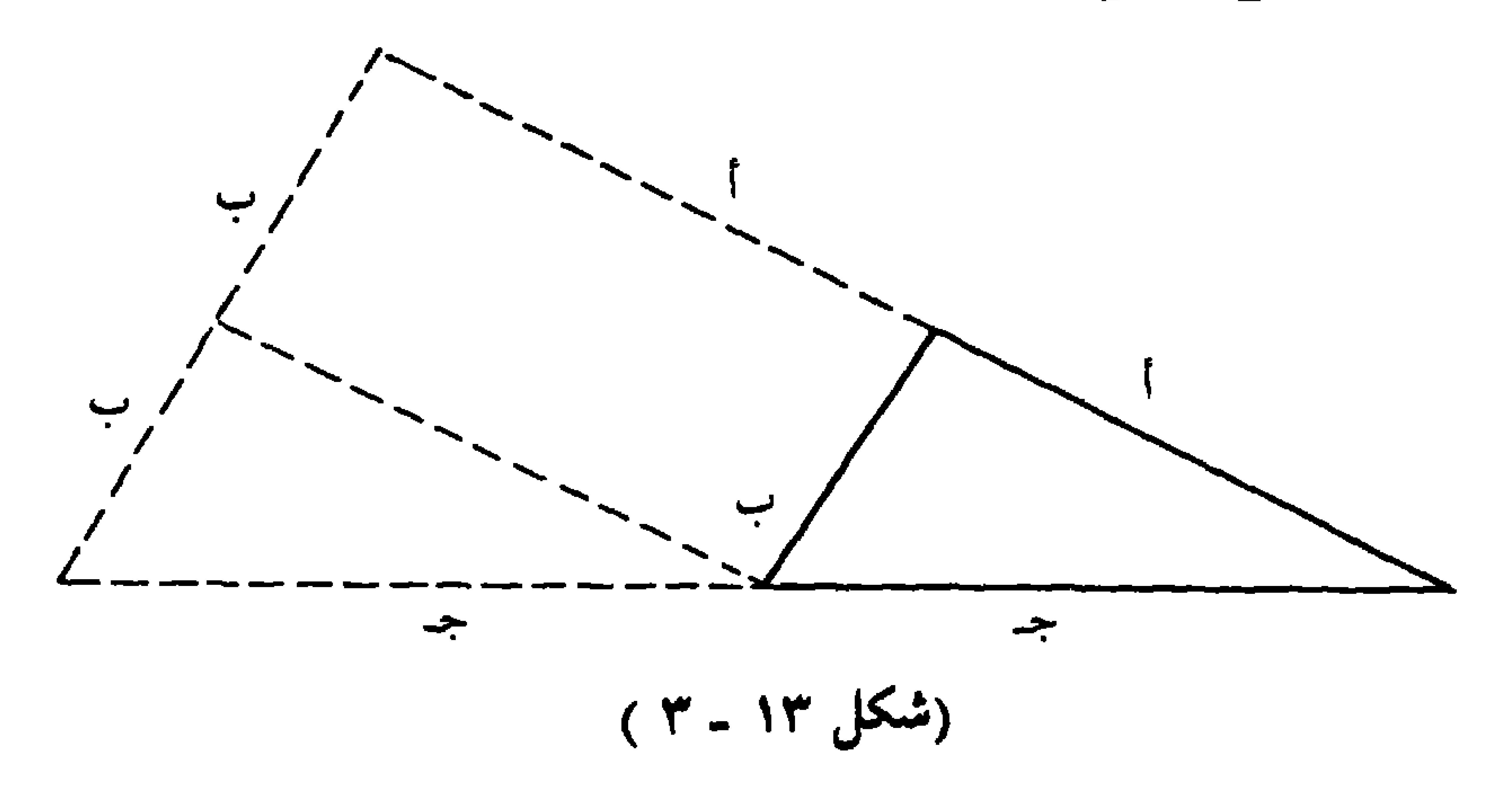
وفي محاولات البرهان على بديهة التوازي، كانت هذه البديهة التي تبدو صادقة حدساً، تؤخذ في بعض الأحيان بوصفها فرضاً ضمنياً. وبهذا الفرض الضمني، أمكن حقاً البرهان على بديهة التوازي. ولسوء الحظ لا يمكن البرهنة على الفرض نفسه إلا إذا افترضنا صدق بديهة التوازي أو أية بديهة أخرى مكافئة لها.

أما البديهة الأخرى المكافئة لبديهة التوازي، قد لا تكون واضحة حدساً كما أشار احد علماء الرياضيات. وهذه البديهة هي الافتراض بأن الأحجام المختلفة للاشكال الهندسية قد تتشابه. فإذا كان لمثلثين مثلاً نفس الزوايا والاضلاع، يقال أنهما متشابهان. ففي الشكل (١٣ ـ ٢)، النسبة أ : ب تساوي النسبة أَ : بَ، كما ان النسبة ب : جـ تساوي النسبة بَ : جَـ. افترض انني رسمت أولاً المثلث الأصغر أ ب جـ، فهل يمكنني رسم مثلث أكبر له نفس الزوايا، وتكون أضلاعه أَ بَ جَـ متناسبة مع أضلاع المثلث أ ب جـ؟ من الواضح فيما يبدو أن الإجابة سوف تكون بالإيجاب.



(شكل ١٣ ـ ٢)

افترض أننا نرغب في رسم مثلث اكبر، بحيث تكون أضلاعه ضعف اضلاع المثلث الأصغر، يمكننا أن نفعل هذا بسهولة عن طريق مد الضلع أ بحيث يكون له نفس طول الضلع أ ونفعل ذلك بالمثل مع الضلع جـ، ثم نصل بين الضلعين، كما هو مبين بالشكل (١٣ ـ ٣).



(شكل ١٣ ـ ٣)

وبقليل من التفكير يتضح تماماً أن طول الضلع الثالث يساوي ٢ ب، وأن المثلث الأكبر يتشابه مع المثلث الأصغر. وإذا سلمنا بهذه البديهيات المتعلقة بالمثلثات المتشابهة، لكان في استطاعتنا البرهنة على بديهة التوازي. ولكننا نعود إلى القول ان بديهة التوازي قد اتخذت شكلاً متنكراً. الحقيقة أننا لا نستطيع أن نبرهن على تشابه المثلثين دون استخدام بديهة التوازي، أو أية بديهة

أخرى متكافئة معها. ولكي نستخدم البديهة المتعلقة بالمثلثات لكان ذلك موافقاً لاستخدام بديهة التوازي، وهي البديهة الأخرى التي نحاول تأسيسها.

ولم يتبين بالفعل أن بديهة التوازي مستقلة عن بديهيات اقليدس الأخرى. إلا عن طريق منطق دقيق جداً، وكان ذلك في القرن التاسع عشر. فهذه البديهة لا يمكن اشتقاقها من البديهيات الأخرى. إذ ان مثل هذه القضايا السالبة تؤكد استحالة عمل أي شيء، فهي فيما يتعلق بالبرهان أصعب بكثير من القضايا الموجبة. إذ يمكن البرهنة على أن هذه القضية الموجبة أو تلك قد اشتقت من مقدمات معينة، وذلك عن طريق بيان خطوات الاشتقاق المنطقية. ولكن كيف يمكننا أن نبرهن على شيء لا يمكن اشتقاقه؟ انك إذا فشلت في اشتقاقه في مئات من المحاولات، لكان في مقدورك ان تتوقف، ولكن لن يكون هذا برهاناً على الاستحالة. إذ يمكن لشخص آخر أن يتوصل، ربما بطريقة غير متوقعة أو ملتوية، إلى اشتقاق. ومع ذلك، وعلى الرغم من الصعوبة التي اكتنفت هذا الأمر، إلا أنه أمكن أخيراً التوصل إلى البرهان الصوري لاستقلال بديهة التوازي.

ولقد تحققنا من تتبع نتائج هذا الاكتشاف، انه كان واحداً من أكثر التطورات أهمية في رياضيات القرن التاسع عشر. لأنه إذا كانت بديهة التوازي مستقلة عن بديهيات اقليدس الأخرى، اذن لكان في مقدورنا استخدام قضية أخرى متعارضة معها دون الوقوع في تناقض منطقي مع البديهيات الأخرى. وعن طريق التوصل إلى بدائل مختلفة تم استحداث أنساق بديهية حديثة، أطلق عليها اسم الهندسات اللااقليدية. كيف يمكن للمرء أن يعتقد في مثل هذه الانساق الحديثة الغريبة التي تتناقض مبرهناتها مع الحدس؟ هل يمكن أن ينظر إلى هذا الأمر بوصفه لعبة منطقية غير مؤذية، أم أنه مجرد لعب بقضايا، رأينا كيف أمكن اشتقاقها دون الوقوع في عدم الاتساق المنطقي؟ أم انه يمكن النظر إليها بوصفها «صادقة» بشكل محتمل، بمعنى أنها يمكن أن تنطبق على بنية المكان ذاته؟

ويبدو أنهم كانوا يعتبرون الحالة الأخيرة مجرد عبث محض في ذلك الوقت، ذلك لأن احداً منهم لم يكن يحلم حتى بمجرد إثارة السؤال. وفي الحقيقة، عندما بدأ قليل من الرياضيين الشجعان الجسورين في دراسة الأنساق اللااقليدية، ترددوا في نشر أبحاثهم. وقد يسخر أحدنا الآن ويتساءل لما كانت كل هذه الحساسية فيما يتعلق بنشر أي نسق حديث للرياضيات. أما اليوم فإننا نميل في الغالب الأعم إلى الأخذ بالاتجاه الصوري الخالص في أي نسق بديهي. ولا نسأل عما إذا كان هذا النسق يقدم لنا تفسيرات او انطباقات ما، وإنما نسأل عما إذا كان هذا النسق متسقاً

منطقياً أم لا، وعما إذا كان يمكن اشتقاق قضية معينة منه أم لا. غير أن هذا لم يكن الاتجاه السائد عند معظم رياضيي القرن التاسع عشر. فقد كانت النقطة في النسق الهندسي تعني عندهم موضعاً في مكان ما من الطبيعة، كما أن الخط المستقيم في نسقهم كان يعني خطاً مستقيماً بالمعنى العادي. ولم ينظر إلى الهندسة بوصفها تمريناً في المنطق. وإنما نظر اليها بوصفها بحثاً في المكان الذي يحيط بنا، وليس مكاناً بالمعنى المجرد الذي يعنيه رياضيو اليوم عندما يتحدثون عن مكان توبولوجي(*) أي مكان متري ذي خمسة أبعاد.

إلا أن كارل فريدريش جوس «Carl Friedrich Gauss» كان واحداً من أعظم الرياضيين، بل ربما كان أعظم رياضيي القرن التاسع عشر على الاطلاق، فقد كان أول من اكتشف نسقاً هندسياً متسقاً، استخدم فيه بديهة اخرى غير متسقة مع بديهة التوازي. ولم نعرف هذا من منشوراته، وإنما من خطاب كتبه لصديق. وفي هذا الخطاب يتحدث عن دراسة مثل هذا النسق، وانه قد استنتج بعض النظريات الهامة منه. ولقد أشار إلى أنه لم يقم بنشر تلك النتائج خوفاً من الاحتجاج العنيف الذي يحتمل أن يلقاه من البيوتيين «Boeotians». وربما يعرف القارىء أنه كان يشير بذلك إلى البيوتيين الذين كانوا يسكنون مقاطعة بيوتيا «Boeotia»، فقد عرف عنهم أنهم قوم أجلاف غير محترمين. ويمكننا أن نترجم عبارته هذه إلى لغة حديثة بقولنا أن «هؤلاء الهلبليون» «Hilbillies» سوف يسخرون وينعتونني بالجنون». ولم يقصد جوس بالهلبليين مع ذلك انهم قوم جاهلون، وإنما كان يعني بهم أساتذة الرياضيات والفلسفة. فقد توقع انهم سوف ينعتونه بالجنون لأنه تحدث بجدية عن هندسة أخرى لا اقليدية.

وإذا كنا ـ طبقاً لجوس ـ قد استغنينا عن بديهة التوازي، فماذا يمكننا أن نضع مكانها؟ الحقيقة أن الإجابة على هذا السؤال، تحتل أهمية بالغة في تاريخ الفيزياء الحديثة، واننا سوف نوليها اهتمامنا بالتفصيل في الفصول من ١٤ إلى ١٧.

* * *

(*) التوبولوجيا «Topology» هندسة لا كمية ولا مقدارية، وإنما هي فرع من الرياضيات يعنى بدراسة موقع الشيء بالنسبة الى الأشياء الأخرى، ولا يعنى بالمسافة أو الحجم. (المترجم).

الفصل الرابع عَشر

الهندسَات اللااقليدية

في محاولة للبحث عن بديهة توضع مكان بديهة التوازي لاقليدس، يوجد لدينا اتجاهان متعارضان يمكننا أن نتحرك من خلالهما:

١ ـ يمكننا أن نقول أنه على سطح مستو، وفي نقطة خارج الخط، لا يوجد سطح مواز (ولقد اكّد اقليدس على وجوده على نحو قاطع).

٢ ـ ويمكننا أن نقول أن هناك أكثر من متواز واحد. (وهذا يثبت في النهاية أنه إذا كان لدينا أكثر من متواز، فلابد ان يكون هناك عدد لا متناه منها).

ولقد اكتشف أول هذين الانحرافين عن هندسة اقليدس، الرياضي الروسي نيقولاي لوباتشفسكي «Nikolai Lobachevski»، والثاني الرياضي الألماني جورج فريـدريش ريمان «George Friedrich Riemann». ولقد وضعت في الجدول المرسوم في الشكل (١٤ ـ ١) الهندستان اللااقليديتان في الجانب المقابل للهندسة اللااقليدية، وذلك لكي نبرز مدى انحرافهما عن البنية الاقليدية في الاتجاهين المقابلين.

اكتشفت هندسة لوباتشفسكي عن طريق لوباتشفسكي نفسه الذي نشر كتابه عام ١٨٣٥، وكان ذلك باستقلال وتقريباً بالتزامن مع الرياضى الهنغاري يوهان بولياي Johann Bolyai الذي نشر نتائجه قبله بثلاث سنوات. أما هندسة ريمان فلم يتمّ إكتشافها إلاّ بعد حوالي عشرين سنة تالية. وإذا أردت أن تطلع أكثر في موضوع الهندسات اللااقليدية هناك العديد من الكتب الجيدة المتاحة باللغة الانجليزية.

نوع الهندسة	عدد المتوازيات	مجموع زوايا المثلث	نسبة محيط الدائرة إلى قطرها	مقياس درجة الانحناء
لوباتشفسكي	∞	> ١٨٠°	> π *	> صفر
إقليدس	١	١٨٠°	π	صفر
ريمان	صفر	< ١٨٠°	< π	< صفر

(*) هذا الرمز يقرأ «باي» «PI» وهو يمثل النسبة بين محيط الدائرة وقطرها أي ٣,١٤١٥٩٢٦٥. (المترجم).

وهناك هندسة لاقليدية أخرى للرياضي الايطالي روبرتوبونولا Roberto Bonola تحتوي على مادتين كتبهما بولياي ولوباتشفسكي، ومن الممتع حقاً قراءتهما في صورتيهما الأصليتين. وأعتقد أن أفضل كتاب يناقش الهندسة اللاقليدية من وجهة النظر المتبناة هنا، اعني مطابقتها لفلسفة الهندسة والمكان، هو كتاب هانز رايشنباخ H. Reichenbach «Philosophie der Raum - Zeit - Lehre» الذي نشر طبعة أولى عام ١٩٢٨ وقد ترجم إلى الإنجليزية بعنوان «فلسفة المكان والزمان». وإذا كنت مهتماً بوجهة النظر التاريخية، هناك كتاب ماكس جامر «Max Jammer» «مفاهيم المكان»: تاريخ نظريات المكان في الفيزياء. وقد تجد أحياناً في مناقشات جامر مسحة ميتافيزيقية طفيفة، وإن كنت لست متأكداً ما إذا كان هذا يرجع إلى وجهة نظره الشخصية أم إلى وجهة نظر هؤلاء الرجال الذين يناقشهم. على أية حال، يعد هذا الكتاب أحد الكتب القليلة التي تتناول بالتفصيل التطور التاريخي لفلسفة المكان.

والآن دعنا نلقي نظرة متفحصة أكثر للهندستين اللاقليديتين. في هندسة لوباتشفسكي التي يطلق عليها علمياً اسم الهندسة الزائدية المقطع «Hyperpolic geometry»، يوجد عدد لا نهائي من المتوازيات. أما في هندسة ريمان التي يطلق عليها علمياً اسم الهندسة الأهليلجية «Elliptic geometry» فلا توجد أية متوازيات. كيف يمكن لهندسة ما ألا تحتوي على أية خطوط متوازية؟ الحقيقة أننا لا يمكننا فهم هذا الا بالرجوع إلى نموذج قريب الشبه إلى حد بعيد بنموذج الهندسة الأهليلجية ولكنه ليس هو على نحو دقيق، وأعني به نموذج الهندسة الكروية Spherical Geometry. وهذا النموذج ببساطة سطح جسم كروي، ينظر اليه بوصفه مماثلاً لسطح مستو. أما الخطوط المستقيمة على السطح المستوي فهي تمثل هنا بدوائر عظيمة للجسم الكروي، وبمصطلحات اكثر عمومية يمكننا القول، انه في أي هندسة لا اقليدية، فإن الخطوط التي تنطبق

على الخطوط المستقيمة في الهندسة الاقليدية هي «الخطوط الجيوديسية»(*) «Geodesic Lines»، وتقتسم مع الخطوط المستقيمة خاصية كونها أقصر مسافة بين نقطتين معينتين. وفي نموذجنا سطح الجسم الكروي يعد أقصر مسافة بين نقطتين، أما الجيوديسي فهو جزء من الدائرة الكبيرة. ويمكننا الحصول على منحنيات الدوائر الكبيرة عن طريق تقطيع الجسم الكروي بسطح مستوٍ من مركز الجسم الكروي. وهذه الأمثلة شبيهة بخط الاستواء ودوائر خطوط الطول في الكرة الأرضية.

لقد رسمنا في شكل (١٤ ـ ٢) خطين من خطوط الطول متعامدين على خط الاستواء. اننا نتوقع في الهندسة الاقليدية خطين متعامدين ومتوازيين لخط معين، ولكن على هذا السطح الكروي تتقابل الخطوط في القطب الشمالي وأيضاً في القطب الجنوبي ولا يوجد على السطح الكروي خطان مستقيمان أو بالأصح خطوط مستقيمة إلى درجة ما «Quasistraight Lines»، وأعني بذلك أن الدوائر الكبيرة لا تلتقي أبداً. إذن لدينا هنا نموذج متخيل للهندسة لا يوجد فيه خطوط متوازية.

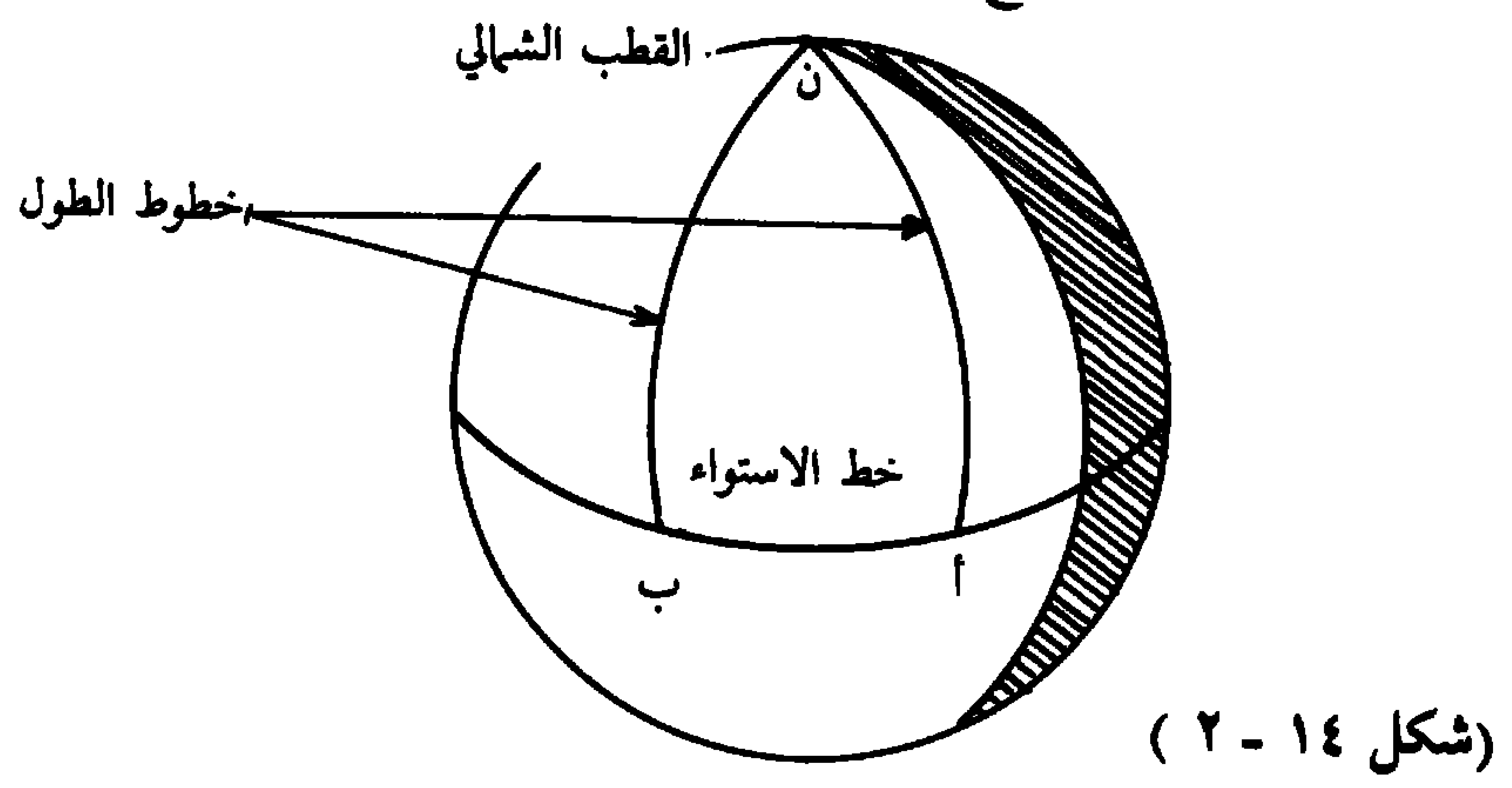
ولقد أمكن أيضاً تمييز الهندستين اللااقليديتين بمجموع زوايا المثلث. ويعد هذا التمييز هاماً جداً من وجهة نظر الأبحاث الامبيريقية المعنية ببنية المكان. ولقد كان جوس هو أول من رأى بوضوح امكانية أن يكشف البحث الامبيريقي عن طبيعة الهندسة التي تصلح لوصف المكان بشكل أفضل، وبمجرد أن نتحقق من اتساق الهندسات اللااقليدية منطقياً يمكننا أن نقرر، دون الرجوع إلى الاختبارات الامبيريقية، أي الهندسات التي تصلح للطبيعة. وعلى الرغم من التحيز الكانطي الذي كان سائداً في عصره، استطاع جوس بالفعل أن يشرع في إجراء تجربة من هذا النوع.

ومن السهل أن ندرك أن اختبار المثلثات أسهل بكثير من اختبار الخطوط المتوازية. فلقد كان الاعتقاد السائد هو أن المتوازيات لا يمكن أن تتقابل أبداً حتى لو امتدت إلى عدة ملايين من الأميال. أما قياس زوايا المثلث فإنها لا تحتاج سوى لمساحة قليلة من المكان. إننا نعرف أن مجموع زوايا أي مثلث في الهندسة الاقليدية تساوي زاويتين قائمتين أي ١٨٠ درجة. أما مجموع زوايا المثلث في هندسة لوبا تشفسكي الزائدية المقطع فهي أقل من ١٨٠ درجة، وفي هندسة ريمان الأهليلجية اكثر من ١٨٠ درجة.

ويمكننا أن نفهم بسهولة الانحراف عن ١٨٠ درجة، في الهندسة الأهليلجية، وذلك بمساعدة نموذج سطح الجسم الكروي. افترض أن المثلث ب أ ن في الشكل (١٤ ـ ٢)، يتألف من قطعتي دوائر من خطوط الطول، بالإضافة إلى خط الاستواء. فإن كلاً من الزاويتين اللتين تقعان على خط الاستواء تساوي ٩٠ درجة، ومن ثم يصبح لدينا اجمالي فعلي لهما ١٨٠ درجة.

(*) الخط الجيوديسي هو أقصر خط بين نقطتين على سطح معين. (المترجم).

فإذا أضفنا لهما زاوية القطب الشمالي يصبح المجموع أكثر من ١٨٠ درجة. وإذا حركنا خطي دوائر الطول حتى يتقاطع كل منهما مع الآخر في زوايا قائمة، إذن لكانت كل زاوية من زوايا المثلث قائمة، وإذن لكـان مجموع الزوايا الثلاث ٢٧٠ درجة .



(شكل ١٤ ـ ٢)

ولقد نمى إلى علمنا أن جوس فكّر في اجراء اختبار لمجموع زوايا مثلث نجمي هائل الضخامة، وهناك تحقيقات تفيد أنه قد أجرى بالفعل تجربة شبيهة بذلك على قياس أرضي، وذلك عن طريق تثليث ثلاثة رؤوس جبال في ألمانيا. ولأنه كان أستاذاً في جامعة جوتنجن «Gottingen»، فقد قيل أنه اختار هضبة بالقرب من المدينة، وقمتي جبلين، يمكن رؤيتهما من أعلى هذه الهضبة. وقام بالفعل بانجاز عمله الهام في تطبيق نظرية الاحتمال على اخطاء القياس، كما انه قد اتيحت له الفرصة في أن يستخدم مثل هذه الإجراءات. ولقد كانت الخطوة الأولىٰ هي أن يقيس الزوايا بصرياً من كل قمة، ثم يعيد القياس مرات عديدة. ويضـع هذه النتائج الملاحظة في الاعتبار، وتحت اضطرابات معينة. استطاع جوس أن يحدد الحجم الأكثر احتمالاً لكل زاوية، ومن ثم القيمة الأكثر احتمالاً لمجموعها، ومن تشتت النتائج، استطاع حينئذ أن يحسب الخطأ المحتمل، ومن ثم المسافة المؤكدة لمتوسط البعد. ذلك لأن احتمال القيمة الصحيحة الواقعة في داخل المسافة كانت مساوية لإحتمال وقوعها خارج المسافة. ويقال إن جوس أجرى ذلك، ووجد أن مجموع الزوايا الثلاث لم تكن ١٨٠ درجة على نحو دقيق، ولكنها تنحرف بمقدار ضئيل عن مسافة الخطأ المحتمل. وهذه النتيجة توضح أن المكان إما أن يكون اقليدياً، أو إذا كان لا اقليدياً، فإن انحرافه ضئيل للغاية إلى الدرجة التي يكون فيها أقل من الخطأ المحتمل في القياسات .

وحتى إذا لم يقم جوس بإجراء مثل هذه التجربة، كما أوضحت المصادر الحديثة، فإن

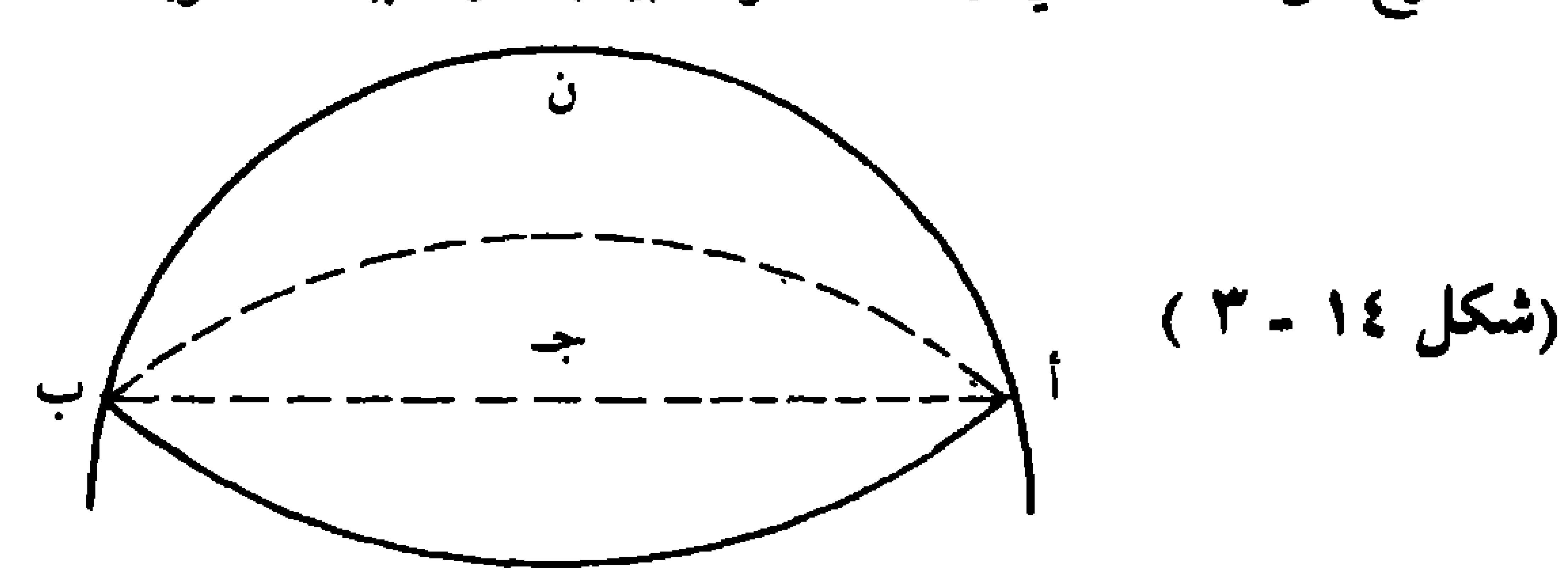
الاسطورة في حد ذاتها تصبح حدثاً هاماً في تاريخ الميثودولوجيا العلمية. فلقد كان جوس بالتأكيد هو أول من أثار هذا السؤال الثوري: ماذا نحن واجدون إذا أجرينا بحثاً امبيريقياً في البنية الهندسية للمكان؟ ولم يكن احد قد فكر أبداً في اجراء مثل هذا البحث. لأن الاعتقاد السائد وقتها انه منافٍ للطبيعة. وهذا الامر شبيه بمحاولة حساب السبعة والثمانية بوسائل امبيريقية. تخيل أن لديك سبع سلات، تحتوي كل سلة على ثماني كرات، ونقوم باحصاء كل الكرات مرات عديدة. فإننا نحصل في معظم الحالات على الرقم ٥٦، ولكننا في بعض الأحيان نحصل على ٥٧ أو ٥٥. ونحاول التمعن في هذه النتائج لنكتشف القيمة الحقيقية للسلات السبع في ثماني كرات. وذات يوم اقترح الرياضي الفرنسي جوردان P.E.B. Jourdain بدعابة أن افضل وسيلة لعمل ذلك، هو ألا تجري هذا الحساب بنفسك، لانك ببساطة لست خبيراً في الحساب، وإنما الخبراء هم رؤساء الخدم في المطاعم او الفنادق الذين يجمعون ويضربون الأعداد بمهارة. فإذا جمعت رؤساء الخدم ذوي الخبرة وسألتهم كم تكون السبعة ثماني مرات، تتوقع انحرافاً كبيراً في اجاباتهم. ولكنك إذا استخدمت أعداداً أكبر، ولنقل العدد ٢٣ في ٢٧ مرة فقد يكون هناك تشتت ما. ولكن هناك حلاً وهو أن نأخذ متوسط جميع الإجابات واضعين في الاعتبار عدد الخدم الذين أدلوا بإجاباتهم، وعلى هذا الأساس نحصل على التقدير العلمي لناتج ٢٣ في ٢٧ مرة.

إذن بالنسبة لمعاصري جوس، كانت أية محاولة لبحث نظرية هندسية امبيريقياً تبدو محالة تماماً. لأنهم نظروا إلى الهندسة بنفس الطريقة التي ينظرون بها إلى الحساب. فقد اعتقدوا مع كانط أن حدسنا منزّه عن الأخطاء الهندسية. لأننا عندما «نرى» شيئاً ما في مخيلتنا، فلا يمكن أن يختلف عما رأيناه. أما العبث المحض فهو قياس زوايا مثلث بغرض العثور على القيمة الحقيقية لمجموعها. إذ ان أي شخص في مقدوره أن يرى ـ بعد تدريب بسيط على الهندسة الاقليدية ـ أن مجموع الزوايا لابد أن يكون ١٨٠ درجة. ولهذا السبب يقال أن جوس قد أحجم عن نشر اجراء هذه التجربة، حتى بعد ان لاحظ قيمتها، ومع ذلك، ونتيجة للتأمل المستمر في الهندسيات اللااقليدية، بدأ عدد من الرياضيين يتحقق أن هذه الهندسات الحديثة العجيبة قد طرحت مشكلة امبيريقية أصيلة. ولم يعثر جوس نفسه عن إجابة شافية لها، ولكن كان لديه الحافز القوي للتفكير بطريقة لا ـ كانطية في المشكلة الكلية لبنية المكان في الطبيعة.

ولكي نرى بوضوح اكثر كيف يمكن للهندسات اللااقليدية المتعددة أن تختلف كل منها عن الأخرى، دعنا نفترض مرة اخرى سطحاً لجسم كروي. وكما رأينا من قبل يعد هذا نموذجاً ملائماً، وقد يساعدنا على فهم البنية الهندسية لسطح مستوٍ في المكان الريماني (ويعني المكان الريماني

هنا ما يسمى بالمكان الاهليلجي) كما أن المصطلح يعني أيضاً معنى اكثر عمومية، سيتم توضيحه فيما بعد) .

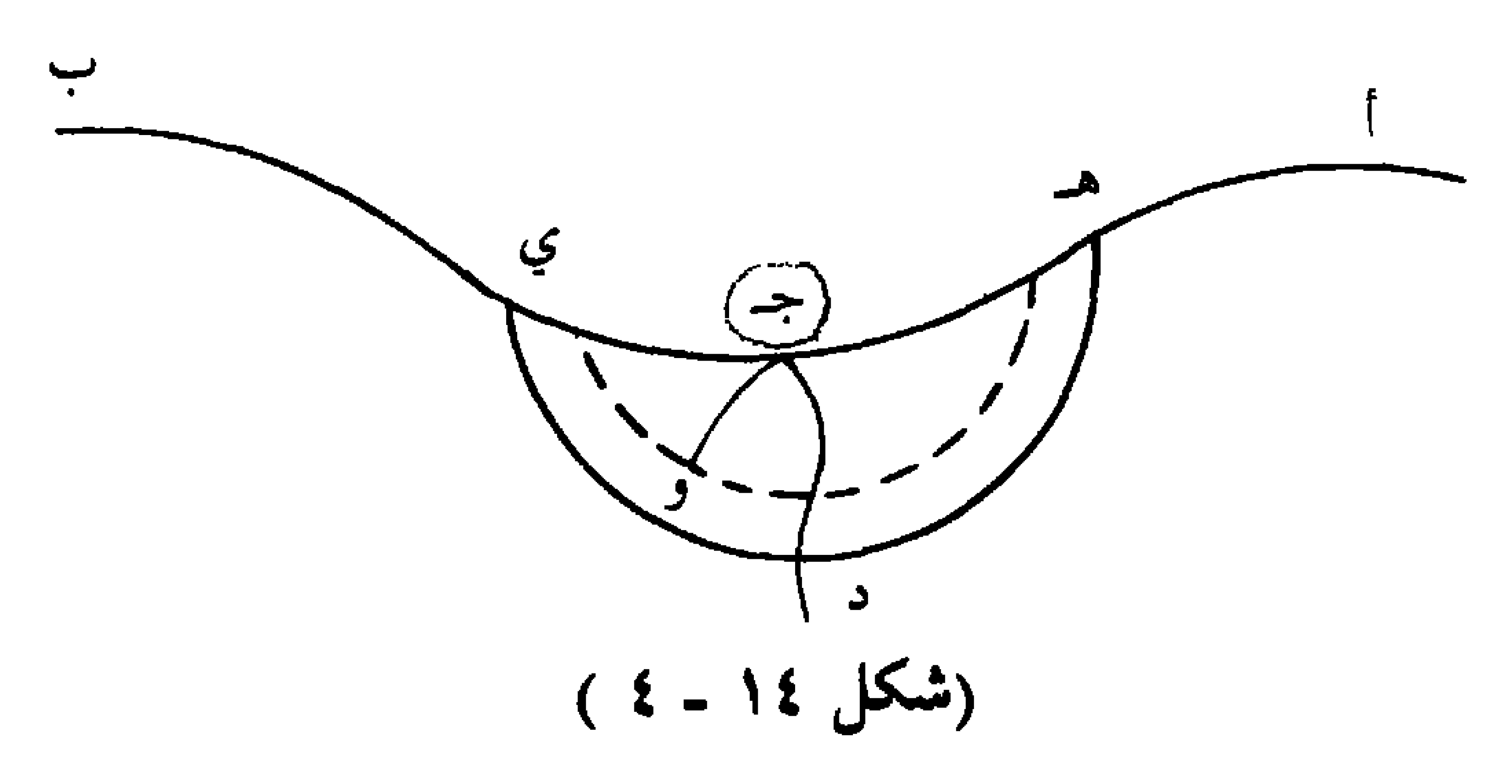
وعلينا الا نطيل اكثر من ذلك في المماثلة بين السطح الريماني والسطح الكروي، لأن أي خطين مستقيمين على السطح المستوي في المكان الريماني له نقطة واحدة مشتركة فقط، حيث ان الخطوط على السطح الكروي، التي تنطبق على الخطوط المستقيمة ـ الدوائر الكبرى ـ تتقابل دائماً في نقطتين. افترض على سبيل المثال تقابل خطين من خطوط الطول في كل من القطب الشمالي والقطب الجنوبي. وبحديث أكثر دقة، إذا حصرنا أنفسنا في جزء من السطح الكروي الذي لا يحتوي على نقـاط متقابلة مثلما هو الحال في القطبين الشمالي والجنوبي، فإن نموذجنا ينطبق فقط على السطح الريماني. أما إذا كان الجسم الكروي الكامل هو نموذجنا، ينبغي أن نفترض أن كل نقطة على السطح المستوي الريماني تنطبق على سطح الجسم الكروي في نقطتين متقابلتين. فإذا كانت نقطة البدء من القطب الشمالي مروراً إلى القطب الجنوبي على الكرة الأرضية، إذن لا نطبق على نقطة بدء واحدة على السطح الريماني التي تأخذ خطاً مستقياً على السطح، وتعود إلى نفس النقطة. إذ ان كل الخطوط الجيوديسية في المكان الريماني لها نفس الطول النهائي ومتقاربة مثل محيط الدائرة. أما الانحراف الشديد الذي يبدو في حدسنا لهذه الحقيقة ربما يكون سببه هو أن هذا النوع من الهندسة في وقت متأخر نسبياً بالمقارنة بهندسة لوباتشفسكي .



(شكل ١٤ ـ ٣)

ويمكننا أن نرى بسهولة، بمساعدة نموذجنا الكروي، أن نسبة محيط الدائرة إلى قطرها في المكان الريماني، تقل دائماً عن بـاي PI. ويـوضح الشكل (١٤ ـ ٣) دائرة على الكرة الأرضية قطبها الشمالي يكون بالنسبة إلى مركزها، وينطبق هذا ايضاً على دائرة في السطح الريماني. ولا يكون نصف القطر هو الخط ب جـ، لأنه لا يقع على سطح الجسم الكروي، وإنما نصف القطر هو ب ن، اما القطر فهو القوس أ ن ب. ونعرف أن محيط هذه الدائرة بالنسبة إلى جزء من الخط أ جـ ب هو باي PI، ولأن القوس أ ن ب أطول من أ جـ ب، اذن لاتـضح أن نسبة محيط الشكل إلى القوس أ ن ب (الذي هو قطر الدائرة في السطح الريماني) ينبغي أن يكون أقل من باي PI.

أما في المكان اللوباتشفسكي فليس من اليسير أن نرى ذلك، لأنه طريقة مختلفة تماماً، إذ أن النسبة بين محيط الدائرة الى قطرها ينبغي ان يكون اكبر من باي «PI». وربما يمكننا أن نتخيله بمساعدة نموذج آخر ولا يمكن أن يستخدم هذا النموذج (المبين في الشكل ١٤ ـ ٤) لأجل سطح لوباتشفسكي كامل، فهو ليس بالتأكيد مكاناً لوباتشفسكياً ثلاثي الأبعاد. ولكن يمكن استخدامه في جزء محدود من السطح اللوباتشفسكي. والنموذج على شكل سرج يقع في ممر بين جبلين، بحيث تكون أ قمة جبل و جـ الممر و ي قمة الجبل الأخرى. حاول ان تتخيل هذا السطح، وستجد منحنى ربما يكون ممراً يمر بالنقطة و، وعلى الجانب الآخر يرتفع الممر ويلاقي النقطة جـ، ثم ينخفض على الجانب القريب ويلاقي النقطة د. ويكون شكل السرج جزءاً من هذا السطح، ويشتمل على النقاط جـ، د، هـ، و، ي، ويلاحظ هذا الشكل بوصفه نموذجاً لبنية المكان في سطح لوباتشفسكي



(شكل ١٤ ـ ٤)

وفي هذا النموذج، ما هو الشكل الذي يمكن أن تكون عليه الدائرة؟.

افترض أن مركز الدائرة يقع في جـ، فلا بد أن يمثل محيط الدائرة الخط المنحني د هـ و ي د وهذه النقاط تقع على نفس المسافة من المركز جـ، فإذا مررت بطول الدائرة إلى النقطة هـ، ستجد نفسك أعلى من المركز. ويسهل عندئذ أن نرى أن هذا الخط المتموج الذي يمثل الدائرة في السطح اللوباتشفسكي أطول من الدائرة المعتادة في السطح الاقليدي. ولأنه أطول، فإن نسبة محيط هذه الدائرة إلى قطرها (القوس و جـ د أو القوس ي جـ هـ) لابد أن يكون أكبر من باي PI.

ويمكننا بناء نموذج أكثر إحكاماً، ينطبق بدقة على جميع المقاييس التي تقيس جزءاً من سطح لوباتشفسكي، وذلك بأن نأخذ منحنى معيناً يسمى تراكترکس «A Tractrix» (وهو القوس أ ب) في الشكل (١٤ ـ ٥) ثم نديره حول المحور جـ د. ويسمى السطح الناتج عن هذا الدوران

بالسطح الكروي الزائف «A Peudosphere». وإذا كنت قد درست مثل هذا النموذج، فلابد انك تعرف ان مجموع زوايا المثلث المرسومة على سطحه أقل من ١٨٠ درجة، وأن نسبة محيط الدائرة إلى نصف قطرها تتجاوز باي PI. كما أن الدائرة الأكبر على هذا السطح تسبب انحرافاً أكبر من باي. ولا ينبغي الاعتقاد بأن هذا يدل على أن باي غير ثابتة، ولكن باي هي نسبة محيط الدائرة إلى قطرها في السطح الاقليدي، ولا تتغير هذه الحقيقة بوجود هندسات لا اقليدية.



(شكل ١٤ - ٥)

ولابد أن يكون لكل سطح من الأسطح سواء أكانت اقليدية او لا اقليدية، وفي أي نقطة من نقاطها مقياس يطلق عليه اسم «مقياس الإنحناء». وتتميز هندسة لوباتشفسكي بحقيقة أن قياس سطح الانحناء فيها يكون دائماً سالباً وثابتا.

وقد تعترض قائلاً، إذا كان السطح مستوياً فلا يمكن أن يكون منحنياً في نفس الوقت. ولكن المنحني «مصطلح فني تكتيكي» ولا تفهمه هنا بالمعنى العادي للكلمة، ففي الهندسة الاقليدية مثلاً، عندما نريد قياس منحنى خط معين عند أية نقطة، يتم ذلك عن طريق أخذ «أنصاف أقطار المنحني» المتبادلة. «ونصف قطر المنحنى» معناه هو تطابق نصف قطر الدائرة مع جزء من الخط المتناهي الصغر في النقطة المشار إليها. فإذا كان هناك خط منحنٍ فهو يبدو لنا وكأنه مستقيم بالكاد، وذلك في الحالة التي يكون عليها نصف قطر المنحنى طويلاً، أما إذا كان نصف القطر قصيراً، فإن الخط يبدو منحنياً بشدة.

إذن كيف نقيس منحنى سطح في نقطة مفترضة؟ نقيس أولاً منحنى الخطين الجيوديسيين اللذين يتقاطعان في تلك النقطة، ويمتدان في اتجاهين يطلق عليهما اسم «الاتجاهين الرئيسيين» للسطح في تلك النقطة. ويكون اتجاه المنحنى الاقصى للخط الجيوديسي في تلك النقطة، أما المنحنى الأدنى فيكون في الاتجاه الآخر. ومن ثم يمكننا أن نعرّف منحنى السطح في تلك النقطة بوصفه نتاجاً لنصفي قطر منحنى الخطين الجيوديسيين المتعاكسين. افترض، مثلاً اننا نريد قياس

منحنى سطح ممر الجبل المبين في الشكل (١٤ ـ ٤) من النقطة جـ. يلاحظ أن الخط الجيوديسي ـ القوس هـ جـ ي ـ ينحني بطريقة مقعرة، بينما ينحني القوس و جـ د ـ بحيث يكون الخط الجيوديسي في الزوايا اليسرى بالنسبة له ـ بطريقة محدبة. ويعطي هذان الخطان الجيوديسيان المنحنيين الأعلى والأدنى للسطح في النقطة جـ. وباالطبع إذا نظرنا إلى هذا الخط من الجانب الأسفل لبدا لنا القوس هـ جـ ي محدباً، والقوس و جـ د مقعراً. ولا يهم على الاطلاق الجانب الذي ننظر منه إلى السطح، فقد نرغب في أن يكون أحدهما محدباً والآخر مقعراً أو العكس ولكننا نطلق على أحدهما اصطلاحياً الجانب الموجب وعلى الآخر الجانب السالب، ويعطينا حاصل نصفي القطر المتعاكسين القيمة $\frac{١}{ر١ ر٢}$، وهذه القيمة هي منحنى السطح الذي يأخذ شكل السرج في النقطة جـ. ولابد أن يكون نصف قطر المنحنى ـ الذي يكون على أية نقطة من السطح الذي يأخذ شكل السرج ـ موجباً، ونصف القطر الآخر سالباً. ونتيجة لذلك لابد أن يكون حاصل عكس نصفي القطر، سالباً.

أما في حالة السطح المحدب فلا يكون الأمر على هذا النحو بشكل كامل. إذ ان الخطين الجيوديسيين لسطح جسم كروي أو بيضي ينحنيان كلاهما بنفس الطريقة. وقد ينحني أحدهما أكثر من الآخر، ولكن على العموم كليهما ينحني بنفس الطريقة. ومرة أخرى لا يهم الجانب الذي ننظر منه إلى السطح وما يترتب على ذلك من جعل نصف قطر أحدهما موجباً والآخر سالباً ولكن الذي يهمنا هو أن حاصل عكسهما سوف يكون دائماً موجباً. ومن ثم فإنه على أي سطح محدب أو كروي لابد أن يكون قياس المنحنى على أية نقطة موجباً.

وبناء على ذلك يمكن تمييز الهندسة اللوباتشفسيكية ونموذجها هو السطح الذي يأخذ شكل السرج على هذا النحو: في أي مكان لوباتشفسكي، لابد أن تكون هناك قيمة سالبة معينة تمثل مقياس المنحنى عند أية نقطة على أي سطح في ذلك المكان. وبالمثل يمكن تمييز الهندسة الريمانية، ونموذجها السطح الكروي، على هذا النحو: في أي مكان ريماني، لابد أن تكون هناك قيمة موجبة معينة تمثل مقياس المنحنى عند أية نقطة على أي سطح في ذلك المكان. ومنحنى الأمكنة لكليهما لابد أن يكون ثابتاً. وهذا يعني انه بالنسبة لأي مكان، لابد ان يكون مقياس المنحنى عند اية نقطة على اي سطح هو نفسه.

فإذا كانت ك هي مقياس المنحنى، في المكان الاقليدي، الذي يكون له ايضاً منحنى ثابت، إذن لابد أن ك = صفر. وفي المكان اللوباتشفسكي تكون ك < صفر، أما في المكان الريماني تكون ك > صفر. ولا تتحدد هذه القيم العددية عن طريق بديهيات الهندسة، وإنما يتم

الحصول على الأمكنة الريمانية المختلفة عن طريق اختيار قيم موجهة مختلفة لـ ك، كما يتم الحصول على الأمكنة اللوباتشفسكية المختلفة عن طريق اختيار قيم سالبة مختلفة لـ ك. وبصرف النظر عن قيمة البارامترك، فإن جميع المبرهنات في كل الأمكنة اللوباتشفسكية تتشابه تماماً، كما تتشابه تماماً في كل الأمكنة الريمانية. ولكن مبرهنات كل هندسة منهما تختلف تماماً بالطبع عن الأخرى.

ومن المهم أن ندرك أن «المنحنى» في معناه الأصلي والحرفي، ينطبق فقط على أسطح نموذج اقليدي لسطح مستو لااقليدي. إذ ان هناك أسطحاً منحنية بهذا المعنى في الجسم الكروي والجسم الكروي الزائف. ولا يعني أن المصطلح «مقياس المنحنى» الذي ينطبق على الأسطح المستوية اللااقليدية، ان هذه الأسطح المستوية «تنحني» بالمعنى المعتاد للكلمة. ولكن الذي يبرر تعميم المصطلح هو أن البناء الهندسي الداخلي للسطح الريماني المستوي هو نفس البناء الخارجي لسطح جسم كروي اقليدي، وينطبق نفس الشيء على بناء السطح المستوى في المكان اللوباتشفسكي. ولكن درج العلماء على أخذ مصطلح قديم، وإضفاء معنى أكثر عمومية له. غير أن هذا لم يسبب أدنى صعوبة أثناء القرن التاسع عشر، لأن الرياضيين فقط هم الذين كانوا يدرسون الهندسات اللااقليدية ولكن بدأت المتاعب عندما استخدم اينشتين الهندسة اللااقليدية في نظريته العامة للنسبية. فقد أخرج اينشتين هذا الموضوع من نطاق الرياضيات البحتة، وأدخله في نطاق الفيزياء. ومن ثم أصبحت الهندسة اللااقليدية وصفاً للعالم الفعلي. وأراد الناس ان يفهموا ما كان اينشتين يفعله، ومن أجل هذا ظهرت مؤلفات تفسر هذه الأشياء للرجل العادي. ولقد ناقش المؤلفون في هذه المؤلفات «الأسطح المنحنية» و«المكان المنحني» ولكن هذا النقاش كان «غير ملائم» ومضلل إلى أبعد حد. فقد كان ينبغي عليهم أن يقولوا: «هناك مقياس معين يرمز له بـ ك ـ ويطلق عليه الرياضيون اسم «مقياس المنحنى». ولكن لا ينبغي عليك أن تولي هذه العبارة أي اهتمام ـ إذ ان ك هذه تكون موجبة داخل الشمس، وسالبة في المجال الجاذبي للشمس. وحينما نبتعد أكثر فأكثر عن الشمس، تقترب القيمة السالبة لـ ك من الصفر».

وبدلاً من ذلك، قال الكتاب الشعبيون أن اينشتين اكتشف أن الأسطح المستوية في فضائنا منحنية وسبب هذا اضطراباً شديداً للرجل العادي. فقد تساءل القراء ما معنى ان نقول أن الأسطح المستوية منحنية. فإذا كانت منحينة، لا ينبغي أن تسمى مستوية. هكذا كانوا يفكّرون. ولقد أدى الحديث عن «المكان المنحني» بهذه الطريقة، إلى أن يعتقد الناس أن كل شيء في الفضاء منحرف، أو ملتو. وكان مؤلفو الكتب في النسبية يتحدثون أحياناً حتى عن كيف

نحني قوى جاذبية الأسطح المستوية. لقد وصفوا الامر كما لو كان هناك شخص ما يحني معدناً من الصلب. ولقد أدى هذا النمط من التفكير إلى نتائج غريبة، مما دفع بعضاً من الكتاب إلى معارضة نظرية اينشتين بناء على تلك الأسس. وكان يمكن تفادي كل هذا لو أمكن تجنب المصطلح «منحنى».

ولكن، من ناحية أخرى، ليس من اليسير أن ندخل مصطلحاً يختلف تماماً عن مصطلح مستخدم بالفعل، وبطريقة معتادة في الرياضيات، ولذلك كان افضل اجراء هو أن نقبل المصطلح «منحنى» بوصفه مصطلحاً فنياً (تكتيكياً)، ويكون معلوماً بوضوح أن هذا المصطلح لا ينبغي أن يرتبط بالروابط القديمة. إذ لا ينبغي التفكير في سطح مستو لا اقليدي بوصفه «منثنياً» على سطح كروي، لأنه عندئذ لن يصبح سطحاً مستوياً، ولن يكون له البناء الداخلي للسطح الاقليدي ولكننا نسميه سطحاً مستوياً بمعنى أن البناء على جانب منه يشبه تماماً البناء على الجانب الآخر. ونلمس هنا خطورة القول ان السطح الكروي الاقليدي يعد نموذجاً للسطح المستوي الريماني، لأنك اذا كنت تفكر في سطح كروي، فلابد انك تعتقد ان داخله يختلف تماماً عن خارجه. إذ ان السطح من الداخل يبدو مقعراً، ومن الخارج، محدباً. وهذه ليست حقيقة السطح المستوي سواء أكان ذلك في المكان اللوباتشفسكي او الريماني، وإنما السطح المستوي في كليهما متماثل. فإذا غادرنا السطح من جانب، فإننا لا نلاحظ شيئاً مختلفاً عما لاحظناه إذا غادرنا السطح من الجانب الآخر. ولكن البنية الداخلية للسطح هي نفس البنية التي يمكننا قياس درجة الانحناء فيها بمساعدة البارامترك. وينبغي ان نتذكر أن هذا المنحنى يكون بالمعنى الفني له، وهو يختلف تماماً عن فهمنا الحدسي للمنحنى في المكان الاقليدي.

ولقد اتضح ببساطة اضطراب اصطلاحي آخر، يتعلق بمعنيين (سبق أن ألمحنا اليهما في هذا الفصل) «للهندسة الريمانية». فعندما اكتشف ريمان هندسته في الانحناء الموجب الثابت اطلق عليها اسم الهندسة الريمانية لتمييزها عن المكان اللوباتشفسكي السابق الذي يكون الانحناء فيه سالباً. وتمكن ريمان أخيراً من تطوير نظرية عامة للأمكنة يكون الانحناء فيها متغيراً، بحيث لم نعد نتعامل مع الأمكنة بشكل بديهي (فقد ظلت بديهيات الهندسة اللااقليدية هي نفسها بديهيات الهندسة الاقليدية فيما عدا بديهية التوازي التي حل محلها بديهة حديثة حددت من نطاق امكنة المنحنى الثابت) وأصبحنا نأخذ في الاعتبار عدد الأبعاد في نظرية ريمان العامة، وفي كل الحالات، قد يختلف المنحنى باستمرار من نقطة الى اخرى.

وعندما يتحدث الفيزيائيون عن «الهندسة الريمانية»، فإنهم يعنون بذلك «الهندسة العامة»

التي تندمج فيها الهندسة الريمانية واللوباتشفسكية معاً (وتسمى اليوم بالهندستين الاهليلجية والزائدية المقطع) مع الهندسة الاقليدية. إذ انهما حالات خصوصية أبسط. وبالإضافة إلى تلك الحالات الخصوصية هناك اختلاف كبير في أمكنة المنحنى في الهندسة الريمانية العامة. وبالإضافة إلى كل ذلك هناك مكان اينشتين الذي تبناه في نظريته العامة للنسبية.

الفصل الخامس عَشر

بوانكاريه في مواجَهَة آينشتين

لقد ألف هنري بوانكاريه «Henri Poincaré» الرياضي والفيزيائي الفرنسي الشهير، العديد من المؤلفات في فلسفة العلوم، ولقد تم تأليف معظمها قبل عصر اينشتين، ووجه جل اهتمامه إلى مشكلة البنية الهندسية للمكان. وهي واحدة من أهم اسهاماته الجادة، ولذلك فهي ضرورية من اجل فهم الفيزياء الحديثة.

ونظراً لقيمتها سوف نوليها اهتمامنا الخاص وذلك بمناقشتها بشيء من التفصيل. كتب بوانكاريه يقول، افترض ان الفيزيائيين اكتشفوا أن بنية المكان الفعلي قد حاد عن الهندسة الاقليدية. فلابد عندئذ أن يختاروا بين بديلين. إما أن يقبلوا الهندسة اللااقليدية باعتبارها وصفاً جيداً للمكان الفيزيائي، أو يحتفظوا بالهندسة الاقليدية مع تبني قوانين حديثة تقرر أن كل الاجسام الصلبة تحتمل تقلصات وانبساطات معينة. وكما رأينا في فصول سابقة، إذ كنا بصدد القياس بقضيب صلب، فلابد أن نضع في حسابنا التقلصات أو التمددات التي قد تصيب القضيب بفعل الحرارة. وبطريقة مشابهة قال بوانكاريه لو اثبتت الملاحظات أن المكان لااقليدي، فلابد للفيزيائيين أن يتمسكوا بالمكان الاقليدي، وذلك عن طريق ادخال عوامل جديدة إلى نظريتهم ـ وهي تلك العوامل التي تسبب تمدد أو تقلص الأجسام الصلبة تحت ظروف خاصة.

كما يمكن لقوانين حديثة أيضاً أن تدخل مجال علم البصريات، ذلك لأن في امكاننا أيضاً أن ندرس الهندسة الفيزيائية عن طريق الاشعاعات الضوئية. فمثل هذه الاشعاعات مفترض انها تسير في خطوط مستقيمة. ولعل القارىء يتذكر ان اضلاع مثلث جاوس الثلاثة، لم تتكون

من قضبان صلبة، ولكنها تكونت من اشعاعات ضوئية لأن المسافات فيها طويلة للغاية. قال بوانكاريه، افترض أن مجموع زوايا مثلث كبير من هذا النوع قد انحرفت عن ١٨٠ درجة. فبدلاً من الاعتماد على الهندسة الاقليدية هنا، علينا أن نقرر أن هذا الانحراف إنما يرجع إلى ميل في الاشعاعات الضوئية. فإذا أدخلنا قوانين حديثة تعالج انحراف اشعاعات الضوء، لكان في مقدورنا أن نفعل ذلك دائماً مع الاحتفاظ بالهندسة الاقليدية.

وكان هذا تبصراً من بوانكاريه غاية في الأهمية. وأخيراً سأحاول أن أشرح ما كان يعنيه بوانكاريه تماماً، وكيف يمكن تبرير ذلك. إذ انه بالإضافة إلى البصيرة النفاذة بعيدة المدى، تنبأ بوانكاريه بأن الفيزيائيين سوف يختارون دائماً طريقاً ثابتاً. فقال بأنهم سوف يفضلون الاحتفاظ بالهندسة الاقليدية، لأنها اكثر بساطة من اللااقليدية. وهو لم يعرف بالطبع المكان اللااقليدي المعقد الذي سيقترحه اينشتين بعد قليل. ومن المحتمل أنه قد فكر فقط في الأمكنة اللااقليدية الأبسط للمنحنى الثابت، والا سيكون قد اعتقد بلا شك، حتى ولو على نحو أقل ترجيحاً، أن الفيزيائيين سوف يتخلون عن اقليدس.

وبالنسبة لاجراء تعديلات في القوانين المتعلقة بالأجسام الصلبة، والاشعاعات الضوئية، فقد بدا لبوانكاريه أن ذلك يمكن تبريره في حالة الأرض، لأنه سيحتفظ بالنسق الأبسط لإقليدس. ولسخرية القدر، لم تمض الا سنوات قليلة وكان اينشتين قد طور عام ١٩١٥ نظريته العامة في النسبية، والتي تبنت الهندسة اللااقليدية.

ومن الأهمية بمكان التعرف على وجهة نظر بوانكـاريه، لأنها تساعدنا على فهم الدواعي التي حدت باينشتين إلى تبني تلك الهندسة. وبدلاً من الاحصاءات والصياغات المعقدة، سنحاول أن نجعل وجهة نظره واضحة بشكل بديهي.

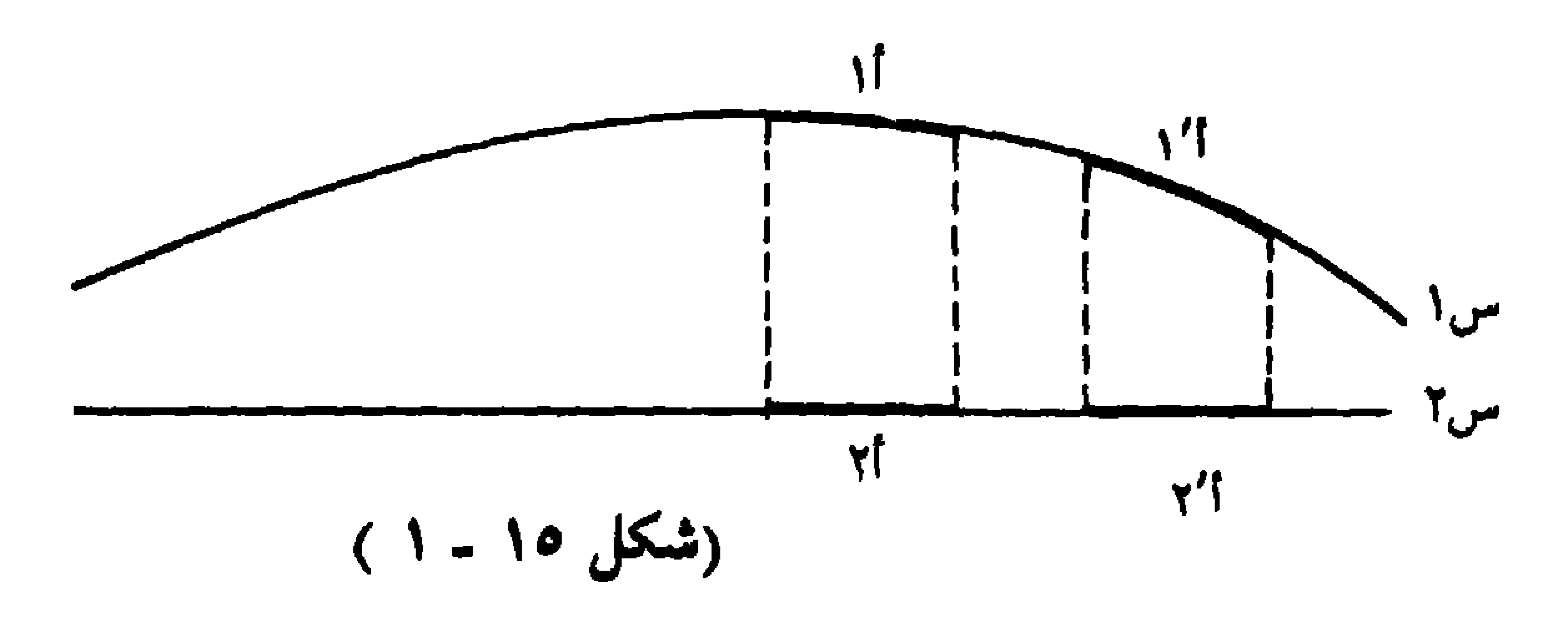
ولذلك يمكننا أن نتخيلها باستخدام حيلة سبق ان استخدمها هيرمان فون هيلمهولتز «Hermann Von Helmholtz»، الفيزيائي الألمـاني العظيم قبل أن يكتب بوانكاريه موضوع هذا البحث بعشرات السنين. فلقد أراد هيلمهولتز أن يبين أن جاوس كان على صواب في ملاحظته للبنية الهندسية للمكان بوصفها مشكلة تجريبية. إذ قال دعنا نتخيل عالماً ذا بعدين يمشي عليه كائنان ذوا بعدين أيضاً، ويندفعان حول الأشياء. فمثل هذين المخلوقين ذوي البعدين كمثل المخلوقات الوهمية المثيرة التي تخيلها ادوين أ. أبوت «Edwin A.Abbotte». فالأرض التي يعيشان عليها مسطحة، ولا اعني انهما يقيمان على مسطح، أو على سطح جسم كروي. إذ ان الجسم الكروي ضخم بالمقارنة بأحجامهما، إذ انهما في حجم النمل والجسم الكروي في ضخامة الأرض، فهو ضخم بحيث لا يستطيعان قطع المسافة حوله. وبكلمات اخرى ان حركتهما محدودة في

منطقة محددة من سطح الجسم الكروي . والمسألة هي ، هل يستطيع هـذان الكائنان عن طريق عمل مقاييس داخلية على سطحهما ذي البعدين ، ان يكتشفا اذا ما كانا يقفان على مسطح أو سطح كروي أو نوع ما آخر من الأسطح ؟ .

أجاب هيلمهولتز بأنهما يستطيعان ذلك . فإذا تمكنا من عمل مثلث كبير جداً وقاما بقياس زوايا هذا المثلث، ووجدا انها تزيد عن ١٨٠ درجة، لعرفا انهما كانا على سطح ذي انحناء موجب، وإذا وجدا نفس الانحناء الموجب في كل نقطة من محيطهما، لعرفا انهما كانا على سطح جسم كروي أو على جزء من هذا الجسم الكروي. (وسواء اكان الجسم الكروي كاملاً أو غير كامل، فهذه مسألة اخرى) إذ إن الافتراض بأن عالمهما كله كان سطحاً كروياً يمكن تعقله . أما نحن فإننا نستطيع بالطبع أن نرى، من الوهلة الأولى، مثل هذا السطح ، لأننا مخلوقات ذات أبعاد ثلاثة تقف خارج هذا السطح ومع ذلك فقد أوضح هيلمهولتز أن المخلوقات ذات البعدين يمكنها أيضاً، عن طريق قياس زوايا مثلث، أو النسبة بين الدائرة وأقطارها (أو أية كميات اخرى مختلفة) أن تحسب مقياس الانحناء في كل مكان من أمكنة اسطحهم . إذن فقد كان جاوس على صواب . وحتى نتأكد من أنه قد استطاع أن يحدد ما إذا كانت ابعادنا الثلاثة للمكان ذات انحناء ايجابي او سلبي عن طريق عمل مقاييس، علينا أن نتخيل مكاناً مطموراً «Imbedded» في عالم ذي بعد أعلى «A Higher Dimenional»، وعندئذ يمكننا أن نتحدث عن ميل أو انحناء حقيقي لمكاننا، لأنه سوف يبدو منحنياً بالنسبة لمخلوقات ذات أبعاد أربعة .

وعلينا أن نفحص هذا الأمر عن قرب اكثر. افترض أن هناك مخلوقات ذات بعدين، وأن هذه المخلوقات تقيس المثلثات بقضبان قياس، واكتشفت نفس الانحناء الموجب لمثلثات من نفس الحجم على نقاط مختلفة من المكان. وأن من بين هذه المخلوقات اثنين من الفيزيائيين ولنرمز اليهما بالرمز ف١ ، ف٢ . يصر الفيزيائي ف١ على النظرية ن١ ، التي تقرر أن المنطقة التي يعيش عليها هو وزملاؤه من المخلوقات، تعد جزءاً من سطح دائري س١ . ويصر زميله الفيزيائي ف ٢ على النظرية ن ٢ ، التي تقرر أن المنطقة إنما هي سطح مستو س ٢ . وهذان السطحان مرسومان في الشكل (١٥ ـ ١). ولنفترض وجود جسمين صلبين ذات بعدين يشبهان اثنين من المخلوقات على س١ ، وتوجد كذلك قضبان قياس تنقل من مكان لآخر دون تغير في الجسم أو الشكل. ويوجد أيضاً على س ٢ نفس ما هو موجود على س ١ ، ويتساقط عليه. وهذا الإسقاط مرسوم في شكل خطوط متوازية متعامدة على السطح س ٢ (وتكون هذه الخطوط المتوازية متقطعة، كما هو مبين في الرسم) فإذا ما تحرك جسم في س١ من النقطة أ١ إلى أ'١، فإن ظل الجسم الذي على س٢ يتحرك من أ٢ إلى أ'٢. وحيث اننا افترضنا أن الأجسام التي على س١

صلبة، فلا بد أن يكون طول أ١ مساو لطول أ′١، ولكن يعني هذا أن أ′٢ لا بد أن يكون أقصر من أ٢ .



(شكل ١٥ - ١)

ولقد أشار هيلمهولتز إلى أننا عندما نقيس شيئاً ما بقضيب قياس، فإننا لا نلاحظ بالفعل سوى سلسلة من المطابقات «Coincidences». ويمكن ان نلمس هذا بسهولة في المثال المتعلق بقياس حافة سور، والذي سقناه في بداية الفصل التاسع .

أنظر مرة أخرى الشكل (١٥ - ١). يطلق على المسقط من س١ إلى س٢، مسقط خريطة واحد بواحد «A one -To - one» (ولن يتسنى لنا فعل ذلك إذا كانت س١ كرة مكتملة، ولكننا افترضنا إن س١ منطقة محددة فقط من دائرة) ومن ثم يصبح لكل موضع على س١، مقابل له على س٢، ولذلك عندما تتحرك الكائنات التي على س١، نلاحظ ظل هذه الكائنات على س٢ . لأن من المفترض إن الاجسام التي على س١ تكون صلبة، أما الاجسام المطابقة لها التي على س٢ فلا يمكن أن تكون صلبة. إذ انها تسمح بنوع من الانكماشات والتمددات كتلك التي سبق أن أوضحناها في الشرح .

ولنعد الأن إلى الفيزيائيين ف١، ف٢ اللذين يأخذان بنظريتين مختلفتين عن طبيعة سطح عالم كل منهما. يقرر ف١ أن هذا العالم أنما هو جزء من كرة، بينما يصر ف٢ على أنه سطح مستو. أما تلك الاجسام التي تتمدد وتنكمش بطرق معينة، فيمكن التكهن بها، إذ انها تتحرك. فهي عندما تتحرك مثلاً تجاه مركز س٢ تبدو أطول، وعندما تتحرك بعيداً عن المركز تبدو أقصر. ويؤكد ف١ على أن الاشعاعات الضوئية تأخذ شكلا جيوديسياً(*) على السطح المنحني س١، ذلك لأنها تابعة لاقواس الدوائر الكبرى، وأن هذه الاقواس تتساقط على س٢ بوصفها أقواساً اهليلجية (بيضية). وإذا أراد ف٢ أن يدافع عن نظريته التي تقرر بأن العالم سطح مستو، عليه

(*) أي تأخذ نفس شكل انحناء الأرض. (المترجم) .

أن يبتكر نظريات حديثة في علم البصريات يؤكد بها على أن أشعة الضوء تتحرك في مسارات اهليلجية .

اذن ما هي الوسيلة التي نستطيع أن نقرر عن طريقها أن أحد الفيزيائيين على صواب؟ والاجابة هي ، أنه ليس ثمة وسيلة لهذا القرار. فالفيزيائي ف١ يؤكد على أن عالمه إنما هو جزء من سطح كرة، وأن الاجسام التي على هذا السطح لا تعاني انكماشات أو تمددات فيما عدا الظواهر المألوفة (أو بالاحرى، النظائر ذات البعدين لمثل هذه الظواهر) كالتمدد الحراري، والتمدد المطاطي ، وهكذا. أما الفيزيائي ف٢ فإنه يصف نفس العالم، وأنما بطريقة مختلفة. فهو يعتقد أنه سطح مستو، وأن تمدد الاجسام وانكماشها بطرق معينة، أنما يحدث عندما تتحرك هذه الاجسام فوق السطح. أما نحن الذين نحيا في مكان ذي ثلاثة أبعاد، نستطيع أن نلاحظ هذا العالم ذا البعدين، ونقرر ما إذا كان سطحاً كروياً أو مسطحاً. ولكن العالمين حصرا أنفسهما في عالميهما، ومن ثم لا يمكنهما من حيث المبدأ أن يقررا أي النظريتين على صواب .

ولهذا السبب، قال بوانكاريه، لا ينبغي علينا أن نطرح هذا السؤال: أيهما على صواب؟ إذ ان النظريتين مجرد طريقتين مختلفتين لوصف نفس العالم .

وهناك طرق أخرى لا نهائية يمكن للعلماء الاستعانة بها في وصف عالمهم، ومن ثم تصبح المسألة، طبقاً لبوانكاريه مسألة مواضعة «Convention». فقد يأتي فيزيائي ثالث ويقدم نظرية خيالية تصور العالم على هذا النحو:

وقد يستطيع الدفاع عن نظريته عن طريق تقديم قوانين أكثر تعقيداً للميكانيكاوعلم البصريات، ويمكن لهذه القوانين أن تجعل جميع الملاحظات متسقة مع النظرية. ولأسباب عملية بحتة لا يوجد فيزيائي على وجه الارض يرغب في اقتراح مثل هذه النظرية. ولكن بوانكاريه يصر على أنه ليس ثمة مانع منطقي يمنعه من فعل ذلك .

ويمكننا أن نقول للفيزيائيين المتنافسين «لا حاجة بكما إلى التشاجر. إنكما تقدمان ببساطة أوصافاً مختلفة لنفس الوقائع الاجمالية». ولعل القارىء يتذكران ليبنتز قد دافع منذ وقت ليس بقريب عن وجهة نظر شبيهة بتلك. فقد أعلن ليبنتز، أنه إذا لم تكن لديك من حيث المبدأ، وسيلة للمفاضلة بين قضيتين، فلا ينبغي أن تقرر أن لهما معنيين مختلفين. فإذا تضاعفت أحجام كل الاجسام في عالمنا هذا أثناء الليلة السابقة فهل سيبدو هذا العالم غريباً في نظرنا، الصباح التالي؟ أعلن ليبنتز أنه لن يحدث ذلك. لأن حجم أجسامنا ذاته سوف يتضاعف، ومن ثم نفقد الوسيلة التي عن طريقها يمكننا أن نلاحظ أن ثمة شيء قد تغير. وبالمثل إذا تحرك الكون بكامله

إلى جانب ما، لمسافة عشرة أميال، فإننا لن نلحظ هذا. وإذا أردنا أن نؤكد أن مثل هذا التغير قد حدث، فإن تأكيدنا هذا يصبح بلا معنى. تبنى بوانكاريه وجهة نظر ليبنتز هذه، وطبقها على البنية الهندسية للمكان. ومن ثم أصبح في إمكاننا أن نجد الدليل التجريبي الذي يقترح أن المكان الفيزيائي لا اقليدي، كما يمكننا دائماً الاحتفاظ بالمكان الاقليدي الاكثر بساطة إذا كنا نرغب في أن ندفع ثمناً له. وكما رأينا، لم يعتقد بوانكاريه أن هذا الثمن يمكن أن يكون مرتفعاً جداً .

وثمة نقطتان أساسيتان في افتراضنا أن العالم مسطح، قصدت أن أوضحهما، وسوف أطبقهما على عالمنا الواقعي. الأولى هي طريقة استخدام اجراءات قياس معينة اعتدنا عليها، وتوصلنا عن طريقها إلى نتيجة، هي أن المكان ذو بنية لااقليدية. غير أن بعض الفلاسفة المحدثين (مثل هوجو دنجلر Hugo Dingler) أنكروا هذا، واعتقدوا أن اجراءات قياسنا أنما تستخدم أدوات، تعمل في ظل الفرض القائل أن الهندسة اقليدية. ولهذا السبب لا يمكن لهذه الأدوات أن تعطينا سوى نتائج اقليدية. وبالتأكيد هذا الاعتقاد خاطىء. لأن أدواتنا أنما تشغل حيزاً ضئيلاً للغاية من المكان، ومن ثم فإن انحرافها عن الهندسة الاقليدية لا يمكن أن يدخل في بنية هذا المكان. افترض مثلاً أداة قياس الزوايا التي يستخدمها مساح الأراضي، أنها تشتمل على دائرة تنقسم إلى ٣٦٠ جزءاً متساوياً، ولأنها دائرة صغيرة فإنها تنحرف عن المكان الاقليدي بدرجة واحدة (مع العلم بأن هذه الدرجة أكبر بكثير من الانحراف الذي يبدو في نظرية النسبية)، ومع ذلك فإن جاوس كان يحدوه الأمل في أنه يستطيع أن يقيس بهذه الأداة دون التأثير على بنية هذه الدائرة. لا شك أن الهندسة الاقليدية صحيحة بدرجة تقريبية عالية جداً، وفي المساحات المكانية القصيرة. ويتم التعبير عن هذا في بعض الاحيان بالقول أن المكان اللااقليدي له نفس بنية المكان الاقليدي في البيئات القصيرة. ومن وجهة نظر رياضية دقيقة ترجع هذه المسأله إلى حد المكان. فإذا كانت مساحة المكان أقل، كانت البنية الانسب هي الاقليدية. أما مسألة أن أدواتنا المعملية تشغل مثل هذه الاجزاء الدقيقة من المكان، فإننا لا نستطيع أن نلاحظ أي تأثير للمكان اللااقليدي قد يؤثر على بنيتها .

وحتى إذا كان الانحراف عن الهندسة الاقليدية كبيراً، إلى الدرجة التي تجعل مجموع زوايا مثلث صغير (مرسوم على ورق مقوى)، يختلف بدرجة كبيرة عن ١٨٠ درجة، فإنه يمكن بالتأكيد تقرير تلك الحقيقة بمساعدة أدوات صنعت بطريقة معتادة. افترض أن الكائنات التي تحياعلى السطح الكروي س١ (أنظر الشكل ١٥ ـ ١) قامت بصنع منقلة وذلك عن طريق قطع القرص الدائري وتقسيم محيطه إلى ٣٦٠ جزءاً متساوياً. فإذا استخدمت هذه المنقلة في قياس زوايا

المثلث المرسوم (في المثال السابق) سيتبين أن كل زاوية تساوي ٩٠ درجة، ومن ثم يصبح مجموع الزوايا الثلاث ٢٧٠ درجة .

أما النقطة الثانية الأساسية فقد ظهرت عندما افترضنا عالماً ذا بعدين. فإذا وجدنا الدليل التجريبي للمكان اللااقليدي، فيمكننا أن نحتفظ بالهندسة الاقليدية بشرط إدخال تعقيدات على القوانين التي تحكم في الاجسام الصلبة، وقوانين الاشعاعات الضوئية. فإذا كنا ننظر من مكاننا إلى سطح آخر تمشي عليه نملة وتساءلنا عما إذا كان السطح مستوياً أو جزءاً من كرة، أو أي نموذج آخر، فلا بد أن يكون لهذا التساؤل معنى، أما إذا تعاملنا مع المكان الذي نحيا فيه بحيث لا يمكننا ملاحظة أي شيء ينتمي الى عالم آخر، فلا معنى ان نتساءل عما إذا كان هذا المكان لااقليدياً أو عما إذا كان ينبغي لقوانينا أن تتعدل لتحافظ على الهندسة الاقليدية. وذلك لأن النظريتين عبارة عن وصفين ممكنين لنفس الوقائع. ويمكننا أن نطلق عليهما اسم (وصفين متكافئين «لأننا نتنبأ بنفس التنبؤات في كل منهما. فقد تكون النظريات مختلفة إلى حد بعيد في بنائها المنطقي، ولكن إذا أدت صورتها أو قوانينها إلى نفس التنبؤات عن الحوادث الملاحظة، لأمكننا أن نقول أنها نظريات متكافئة .

ويستحسن عند هذه النقطة أن نميز بوضوح بين ما نعنيه هنا بهذه العبارة «نظريات متكافئة» وبين ما يعنيه البعض بها أحياناً. من حين لآخر يقترح أحد الفيزيائيين نظرية تختلف تماماً عن نظرية فيزيائي آخر، وذلك لتعليل نفس مجموعة الوقائع، ولكن من غير المحتمل أن تظل هاتان النظريتان على حالهما عند خضوعهما للملاحظة، ويرجع ذلك إلى أنهما من الممكن أن يشتملا على تنبؤات تختلف عما يمكن أن تأتي به الملاحظة في المستقبل. وحتى على الرغم من أن هاتين النظريتين قد تتمكنا من تعليل الملاحظات المعروفة، الا أننا ينبغي ان ننظر اليهما بوصفهما نظريتين فيزيائيتين مختلفتين من حيث الجوهر.

وليس من اليسير أحياناً اجراء تجارب تمكننا من التمييز بين النظريتين المتنافستين غير المتكافئتين. والمثال التقليدي على ذلك هو نظرية الجاذبية لكل من نيوتن واينشتين. إن الاختلافات ضئيلة جداً فيما يختص بتنبؤات هاتين النظريتين، ولذلك تم اجراء تجارب بارعة ومقاييس محكمة قبل الحكم على أفضلية أحدهما في هذا الخصوص. وعندما اقترح اينشتين أخيراً نظريته في هذا المجال الموحد، صرح بأنه كان عاجزاً عن التفكير في تجربة قاطعة تفاضل بين نظريته والنظريات الاخرى. وأوضح ذلك بقوله أن نظريته لم تكن متكافئة مع أية نظرية سابقة، ولكنها صيغت بتجريد إلى الدرجة التي لم يستطع أن يستنتج منها أية نتائج يمكن اخضاعها

للملاحظة بدرجة عالية في الدقة من ظل أفضل أدواتنا الحالية. ولقد اعتقد أن نظريته في المجال الموحد إذا خضعت للبحث أكثر من ذلك أو إذا تحسنت أدواتنا بما فيه الكفاية، لكان في مقدورنا، في يوم ما، اجراء مثل هذه الملاحظة الحاسمة. غير أنه من المهم جداً أن ندرك أن هذه النظريات المتكافئة، كما هي مستخدمة هنا، إنما تعني شيئاً ما أكثر قوة من حقيقة أن النظريتين تعللان جميع الملاحظات المعروفة إذ ان التكافؤ هنا يعني انتهاء النظريتين إلى نفس التنبؤات تماماً في جميع الحالات. وهذا شبيه بنظرية كل من الفيزيائيين في تفسير الأرض المسطحة في مثالنا السابق.

وفي الفصلين التاليين، نتناول بالتفصل كيف أدى تبصر بوانكاريه، في جعله نظريات المكان الاقليدية واللااقليدية متكافئة عند اخضاعها للملاحظة، إلى تفهم أعمق لبنية المكان في النظرية النسبية.

* * *

الفصل السادس عشر

المَكان في نظريَة النِسبية

طبقاً لنظرية النسبية لأينشتين، وكما ناقشنا ذلك في الفصول السابقة، تنحرف بنية المكان في المجالات الجاذبية عن بنية الهندسة الاقليدية. وإذا لم يكن المجال الجاذبي كبيراً إلى حد بعيد، فمن الصعب ملاحظة مثل هذه الانحرافات. وحيث ان المجال الجاذبي للكرة الأرضية ضعيف للغاية، فلا يمكن أن نكتشف، وحتى بأفضل الأدوات المتاحة أيّ انحراف عن البنية الاقليدية. أما إذا كانت المجالات الجاذبية قوية مثل تلك التي تحيط بالشمس أو النجوم التي تعد كتلتها أكبر من الشمس، فإننا نلحظ انحرافات معينة عن الهندسة الاقليدية.

ونجد أحياناً في الكتب الشعبية التي تتناول نظرية النسبية، كما نجد أيضاً في العديد من الكتب الأخرى التي تناقش هذا الموضوع، عبارات مضللة. فقد نقرأ في صفحة ما أن نظرية اينشتين تقرر أن بنية المكان في المجال الجاذبي لااقليـدية، ونقرأ في صفحة أخرى، وربما في نفس الصفحة أنه طبقاً لنظرية النسبية، فإن القضبان تنكمش في المجال الجاذبي (والواقع إن هذا ليس هو الانكماش الذي يطلق عليه أحياناً اسم انكماش لورنتز (Lorentz - Contraction) الذي يؤثر على القضبان المتحركة، وإنما هو انكماش القضبان الساكنة في مجال جاذبي.

وينبغي أن يكون واضحاً تماماً أن هاتين العبارتين لا تصدقان معاً. ولكن كل منهما صادقة على حدة، ولا يمكن أن يقال عن إحديهما أنها كاذبة. ومن ثم يكون المؤلف على صواب في صفحة، ويكون أيضاً على صواب في صفحة أخرى. ولكن لا ينبغي ذكر العبارتين في صفحتين في نفس الفصل. إذ انهما ينتميان إلى لغتين مختلفتين، وينبغي على المؤلف الذي يتحدث عن نظرية النسبية أن يحدد أي لغة منهما يقصد. فإذا أراد أن يتحدث بلغة اقليدية، كان من المناسب تماماً الحديـث عن انكماش قضيب في مجال جاذبي، ولكن لا يحق له الحديث في نفس الوقت عن

بنية لااقليدية للمكان. أما إذا اختار أن يتبنى لغة لااقليدية، فلا يحق له الحديث عن الانكماشات. إذ تتزود كل لغة منهما بشرعية خاصة عند الحديث عن المجالات الجاذبية، ولكن الخلط بين اللغتين في نفس الفصل يسبب اضطراباً شديداً للقارىء .

ولعلنا نتذكر، عندما كنا بصدد مناقشة العالم المسطح، اننا تخيلنا عالمين في الفيزياء لكل منهما نظرية مختلفة عن الأخرى في طبيعة عالم كل منهما. وقد اتضح في الحقيقة، تكافؤ هاتين النظريتين، وأن اختلافهما إنما ينحصر في كونهما طريقتين مختلفتين في وصف نفس إجمالي الوقائع وينطبق هذا الموقف أيضاً على نظرية النسبية. ولذلك فإننا سوف نرمز للوصف الأول ـ الاقليدي ـ بالرمز ت١، والآخر ـ الاقليدي بالرمز ت٢ .

فإذا وقع اختيارنا على اللغة ت١ ـ وهي لغة لااقليدية ـ فإن قوانين الميكانيكا والبصريات تظل كما هي في فيزياء ما قبل اينشتين . أي تظل الجوامد صلبة عدا استثناءات معينة مثل التمددات والتقلصات المطاطية (عندما تضغطها أو تمطها قوى خارجية)، كما أن التمددات والتغيرات الحرارية تحدث عن طريق المغنطة، وهكذا. ومثل هذه الاستثناءات جزء لا يتجزأ من الفيزياء الكلاسيكية، ويتم معالجتها دائماً عن طريق ادخال عوامل تصحيح مختلفة في تعريف الطول. وربما يتقرر مثلاً، ان مقياس قضيب معين هو مستوى وحدة الطول لأن من المعروف أن الحديد يتمدد عند تسخينه، ويمثل الحديد هذه الوحدة من الطول فقط، عندما تكون له درجة حرارة معينة «عادية» وهي ت صفر. ويمكن للقضيب بالطبع أن تكون له درجة حرارة اخرى ت في أي زمن آخر مفترض، بحيث تختلف عن الدرجة ت صفر. ولذلك إذا كنا بصدد تعريف طول مستوى قضيب في درجة الحرارة ت، فلابد أن يتضاعف الطول المعتاد للقضيب ل صفر عن طريق عامل التصحيح، كما سبق ان شرحنا ذلك في الفصل السابع. ولقد عبرنا في ذلك الفصل عن هذا العامل على هذا النحو (+ بيتـا (ت ـ ت صفر) حيث تعتمد قيمة بيتـا على مادة القضيب. ومن ثم يصبح تعريف الطول ل هكذا:

١ = ل صفر [١ + بيتنا (ت ـ ت صفر)]

وفي نموذج مشابه، ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار القوي الأخرى التي يمكن أن تؤثر على طول القضيب، ولكن ليس من بينها الجاذبية. ففيما يتعلق بالضوء، تقرر اللغة ت١ أن مسارات أشعة الضوء في الفراغ «Vacuum» (الخالي من الهواء والمادة) تكون دائماً في خطوط مستقيمة. فهي لا تنثني أو تنحرف بسبب المجالات الجاذبية على أي نحو. أما الوصف البديل ت٢ فإنه يحتفظ بالهندسة الاقليدية. ويمكن أن تؤخذ في الاعتبار الآراء التي تقترح مكاناً لااقليدياً إذا أجرينا تعديلات في قوانين البصريات والميكانيكا الكلاسيكية .

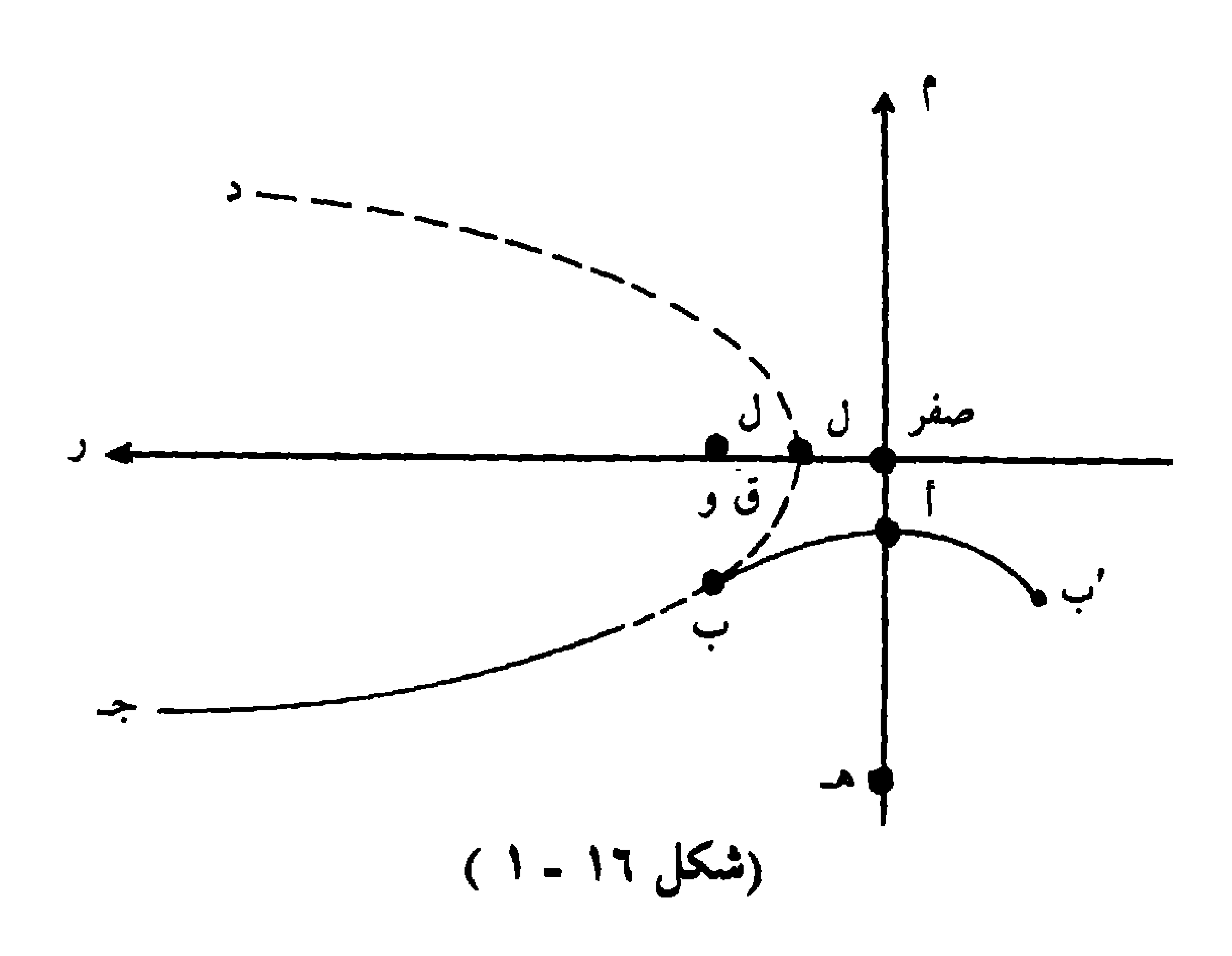
وحتى نستطيع إدراك كيفية انطباق هذين الوصفين على بنية سطح مستوٍ في مكان فيزيائي وكما هومتصوَّر في نظرية النسبية لاينشتين، علينا أن نفترض مرور السطح المستوي س في مركز الشمس. وطبقاً لنظرية النسبية، تبين الاختبارات المتعلقة بالمشاهدة، في حالة كونها ملائمة، إن مجموع زوايا المثلث المرسوم على هذا السطح خارج الشمس، أقل من ١٨٠ درجة. وبالمثل تكون نسبة محيط الدائرة المرسومة على هذا السطح خارج الشمس، إلى نصف قطرها اكبر من باي. أما القياسات التي تجري داخل الشمس، فإنها تظهر انحرافات عكسية.

ولكي نجعل بنية هذا السطح المستوي أكثر وضوحاً بالحدس، كما نرى كيف يمكن لهذه البنية ان توصف بلغتين متنافستين ت[1] وت[2]، علينا ان نستخدم نموذجاً للمكان الاقليدي، ونضعه على بنية السطح اللااقليدي السالف الذكر، بحيث ينطبق عليه تماماً. وهذا النموذج إنما هو سطح منحن معين سَ للبنية التي سبق ان وصفناها.

إن المنحنى د ب جـ في النظام الاحداثي س م (انظر الشكل ١٦ ـ ١) يعد قوساً للقطع المكافىء الذي يعتبر م هو خطة الدليلي (إذ ان المنحنى ينشأ من نقطة متحركة ولذلك فإن ـ مسافتها العمودية من الخط الدليلي، تساوي دائماً نفس مسافتها من النقطة و، التي هي بؤرة القطع المكافىء)، كما أن ق تعد قمة رأس القطع المكافىء، وتكون المسافة ل متناسبة مع كتلة الشمس. ويعد القوس أ ب قوساً للدائرة التي مركزها هـ ، وهي على المحور ـ م، وهي مرسومة بحيث يمر القوس بسهولة على القطع المكافىء، ويعني هذا أن الخط المماس للدائرة ن، والخط المماس للقطع المكافىء ت، يتطابقان. (ويطلق على ب ١سم نقطة انعطاف المنحنى أ ب جـ). افترض أن هذا المنحنى الأملس أ ب جـ يدور حول محور ـ م، فينتج عنه سطحاً شبيهاً بسطح تل. إن هذا السطح سَ هو الذي سوف يستخدم بوصفه نموذجاً اقليدياً لسطح لااقليدي يمر خلال مركز الشمس.

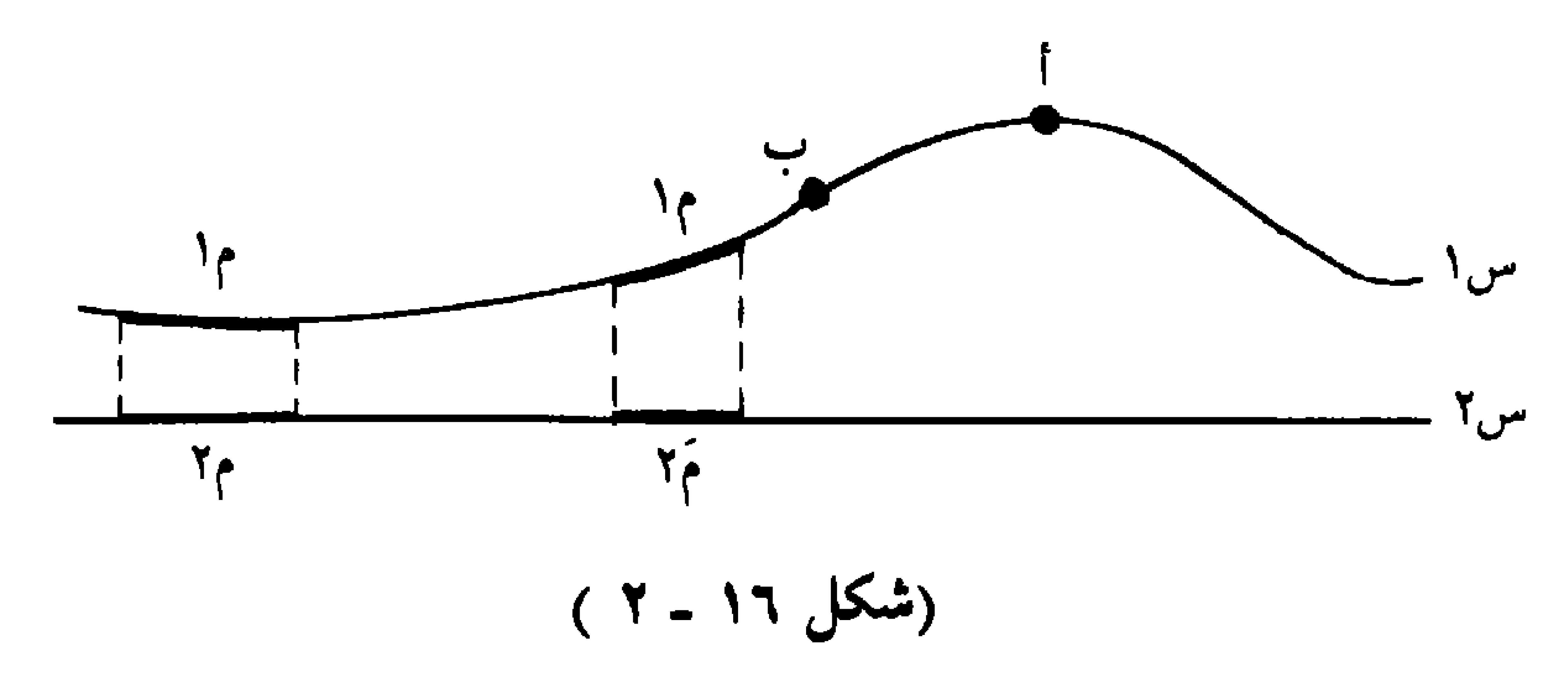
ويلاحظ أن جزء السطح القريب من قمة التل بَ أ ب، دائري الشكل ومحدب، إذ انه يتطابق مع جزء السطح المستوي داخل الشمس. كما يلاحظ أن المنحنى هنا ثابت وموجب. (تتناول الكتب التي تتحدث عن نظرية النسبية فقط هذه النقطة، لأن القليل من الفيزيائيين هم الذين يهتمون بالبنية الهندسية للمكان داخل كتلة ضخمة مثل الشمس. ولكنها نقطة نظرية هامة، وسوف تؤخذ في الاعتبار فيما بعد، عندما يتم فحص مثلث من أشعة الضوء خارج الشمس) كما يلاحظ أن السطح المرسوم خارج القمة الدائرية للتل يكون سطحاً مقعراً شبيهاً بسطح السرج، ويكون هذا المنحنى سالباً بالطبع، على خلاف الهندسة اللوباتشفسكية لا يكون ثابتاً. أما إذا ابتعدنا كثيراً عن مركز التل، يصبح القطع المكافىء مشابهاً اكثر فأكثر للخط

المستقيم. ويكون المنحنى مغايراً للصفر بشكل ملحوظ في المواقع التي لا تبتعد عن الجزء الدائري للسطح. وينطبق سطح المنحنى السلبي لهذا الجزء على جزء السطح المستوى خارج الشمس. كما ان الاقتراب الحالي من الشمس يجعل المنحنى السلبي مغايراً للصفر اكثر. أما إذا ابتعدنا اكثر فأكثر عن الشمس، فإنه يقترب من الصفر ولكنه لا يصل أبداً إلى الصفر إلا إذا ابتعدنا بشكل كاف عن الشمس ـ ويجدر بنا أن نلاحظ أن مقدار الانحناء، في الرسم البياني، مبالغ فيه بشكل كبير. لأنه إذا كان مقياس الرسم أكثر دقة، لاقترب المنحنى إلى الخط المستقيم بحيث لا يمكننا ملاحظة الانحناء ومن ثم فإن المقدار الكمي مفترض هنا فقط.



(شكل ١٦ ـ ١)

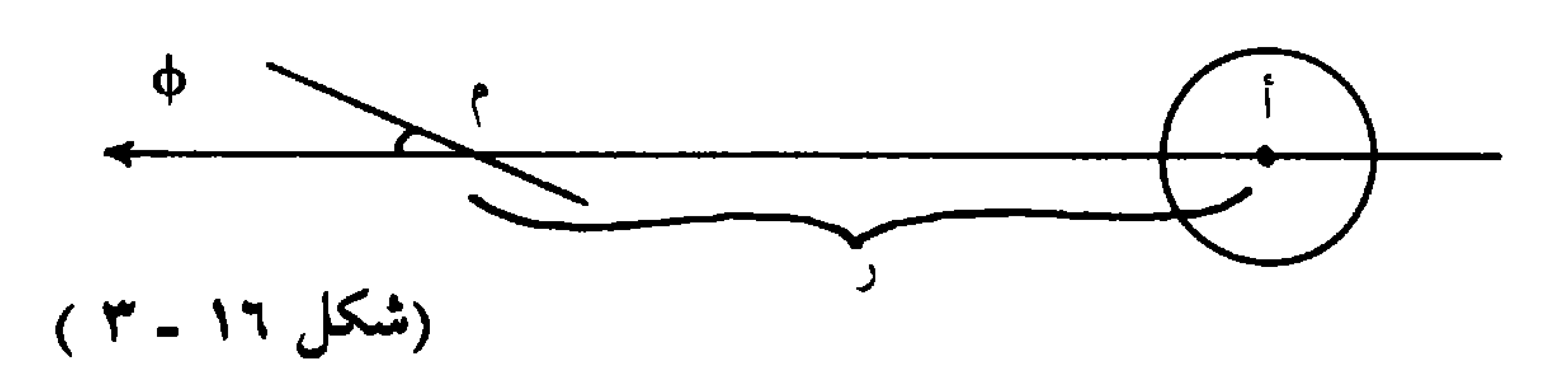
ويمكننا الآن مقارنة النظريتين ت١ وت٢ ـ اللااقليدية والاقليدية ـ بوصفهما ينطبقان على بناء السطح المار بمركز الشمس. ويمكننا أن نفعل هنا مثلما فعل هيلمهولتز، أي نستخدم منحنى السطح الشبيه بالتل، كما هو مبين في النموذج. وقد سبق الحديث عنه بوصفه سطحاً اقليدياً، ولكنه يستخدم الآن بوصفه سطحاً لااقليدياً. وتمثل س١ الصورة الجانبية لهذا السطح، كما هو مبين في الشكل (١٦ ـ ٢)، كما يمثل الخط المستقيم س٢ سطحاً اقليدياً مماثلاً. وكما سبق أن فعلنا من قبل، نرسم خطوطاً متوازية (وهي الخطوط المتقطعة) من س١ إلى س٢. لاحظ إنه إذا تحرك القضيب من الموقع م١ إلى مَ١، ويكون ذلك من موقع بعيد عن الشمس إلى موقع قريب جداً منها، لا ينكمش القضيب، لأن وصف الحادث يكون في لغة الهندسة اللااقليدية. ولكن إذا استخدمنا لغة النظرية ت٢ الاقليدية، التي تعتمد على السطح س٢، فإن القضيب ينكمش عند



(شكل ١٦ ـ ٢)

تحركه من م٢ إلى مَ٢. وينبغي إضافة القوانين الحديثة التي تذكر أن جميع القضبان، تعاني انكماشات معينة عندما تقترب من الشمس في الاتجاه الأصلي لها، أي الاتجاه نحو مركز الشمس. ويصور الشكل (١٦ ـ ٣) الموقف من أعلى بدلاً من الجزء المتقاطع، وتكون الدائرة التي مركزها أ هي الشمس، أما القضيب فهو في الموقع م، وتقع الزاوية ϕ بين القضيب والاتجاه الأصلي. ويعتمد انكماش القضيب، طبقاً لمصطلحات النظرية ت٢، على هذه الزاوية ويمكن تغطية هذا الانكماش عن طريق قانون عام. ويذكر هذا القانون انه إذا كان لقضيب ما الطول ل صفر، فإنه عندما يتحرك بعيداً عن أي مجال جاذبي، فلابد أن ينجذب إلى الموقع م (بشرط أن تظل درجة الحرارة والشروط الأخرى بلا تغيير) في المسافة ر من الجسم ت. فإذا كانت الكتلة ك بزاوية الاتجاه الأصلي ∅، فإنه سوف ينكمش إلى الطول:

$$\text{ل صفر} [1 - \text{ن} (\frac{\text{ك}}{\text{ر}} \text{جيب تمام } \phi^{(2)})]$$



(شكل ١٦ ـ ٣)

حيث أن ن تعد ثابتاً معيناً. ولأن هذا القانون عام، مثل قانون التمدد الحراري، فلابد أن نضعه في الاعتبار عند قياس القضيب، فهو يستخدم بوصفه مستوى الطول الذي تم تعريفه. ولذلك ينبغي أن يدخل عامل التصحيح الجديد في المعادلة السابقة، ومن ثم يصبح التعريف على هذا النحو:

$$1 = \text{ل}_{\text{صفر}} [1 + \text{ب} (\text{ت} - \text{ت}_{\text{صفر}})] \quad [1 - \text{ن} (\frac{\text{ك}}{\text{ر}} \text{جيب تمام } \phi^{(2)})]$$

فإذا احتفظنا بالمسافة ر ثابتة، وغيرنا الزاوية Φ، وكان القضيب في الاتجاه الأصلي، لكانت الزاوية Φ تساوي صفراً، ويصبح جيب التمام واحداً، ومن ثم يمكن حذف جيب التمام Φ من المعادلة. وقد يصل الانكماش في هذه الحالة إلى قيمته القصوى. فإذا كانت Φ زاوية قائمة، تكون زاوية الجيب صفراً، وهنا يختفي عامل التصحيح تماماً. وبكلمات أخرى، لا يمكن للقضيب أن ينكمش، عندما يكون متعامداً على الاتجاه الأصلي. ويتغير مقدار الانكماش، في مواقع اخرى، بين الصفر والحد الأقصى.

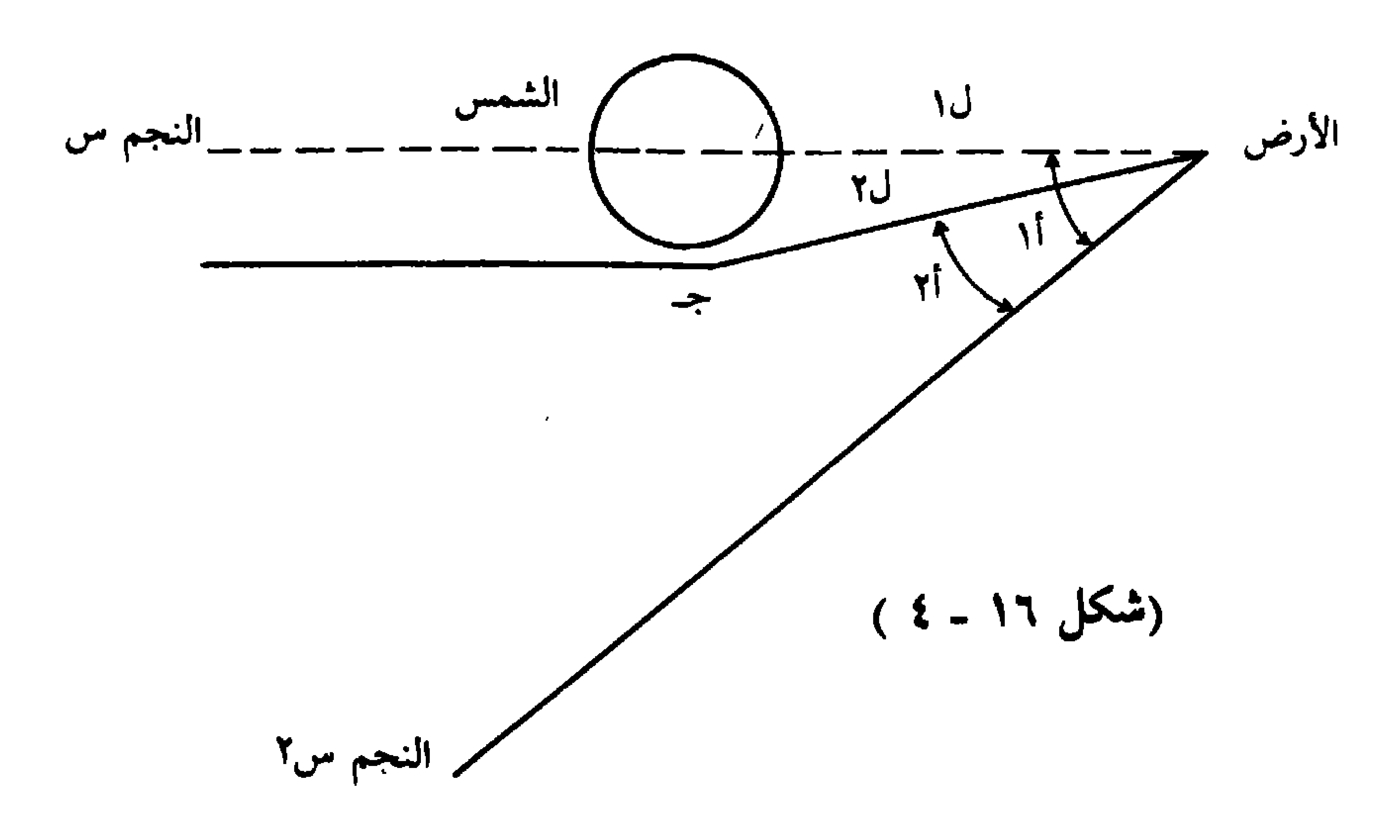
مع العلم بأن قيمة الثابت ن ضئيلة جداً، فإذا كانت المقادير تقاس طبقاً لنظام س جـ ث (السنتيمتر، والجرام والثانية)، فإن قيمة ن تكون ٣,٧ × ١٠ ^٢٩^، وهذا يعني وجود ٢٨ صفراً مضروباً ٣٧ مرة خلف النقطة العشرية، ومن ثم يتضح ان هذه القيمة ضئيلة إلى حد بعيد. وحتى إذا كانت هناك كتلة ضخمة مثل الشمس (١,٩٨ × ١٠ ^٣٣^ من الجرامات) وجعلنا ر ضئيلة قدر المستطاع وذلك عن طريق اقترابها من سطح الشمس، فإن ر تساوي عندئذ نصف قطر الشمس أ ب (٦,٩٥ × ١٠^١٠^سم)، وسيظل التأثير ضئيلاً جداً. لأن انكماش القضيب القريب من سطح الشمس في الاتجاه الأصلي، هو في الحقيقة:

$$\text{ن}\ \frac{\text{ك}}{\text{ر}_{\text{صفر}}} = \text{و}\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot ١١ .$$

ومن ثم يتضح ان الخطوط البيانية في الشكلين (١٦ ـ ١، ١٦ ـ ٢) مبالغ فيهما إلى حد بعيد. إذ أن بنية السطح المستوي المار في مركز الشمس هي نفسها، وبشكل عملي، بنية السطح الأقليدي المستوي، ولكن هناك انحرافات دقيقة، كما سيتبين فيما بعد، كما أن هناك اجراءات تجريبية لملاحظة تلك الانحرافات.

والنقطة الهامة التي ينبغي أن ندركها هنا ـ وهي النقطة التي أكد عليها بوانكاريه ـ هي أن سلوك قضبان القياس في مجالات جاذبية يمكن وصفها بطريقتين مختلفتين تماماً. كما يمكن الاحتفاظ بالهندسة الاقليدية إذا قمنا بإدخال قوانين فيزيائية حديثة، أو يمكن الاحتفاظ بصلابة الأجسام إذا تبنينا هندسة لااقليدية. ومن ثم فإننا نكون احراراً في اختيار الهندسة التي نرغب في اختيارها للمكان الفيزيائي بشرط أن نتزود بالإرادة التي تجعل أدوات الضبط ضرورية في القوانين الفيزيائية.

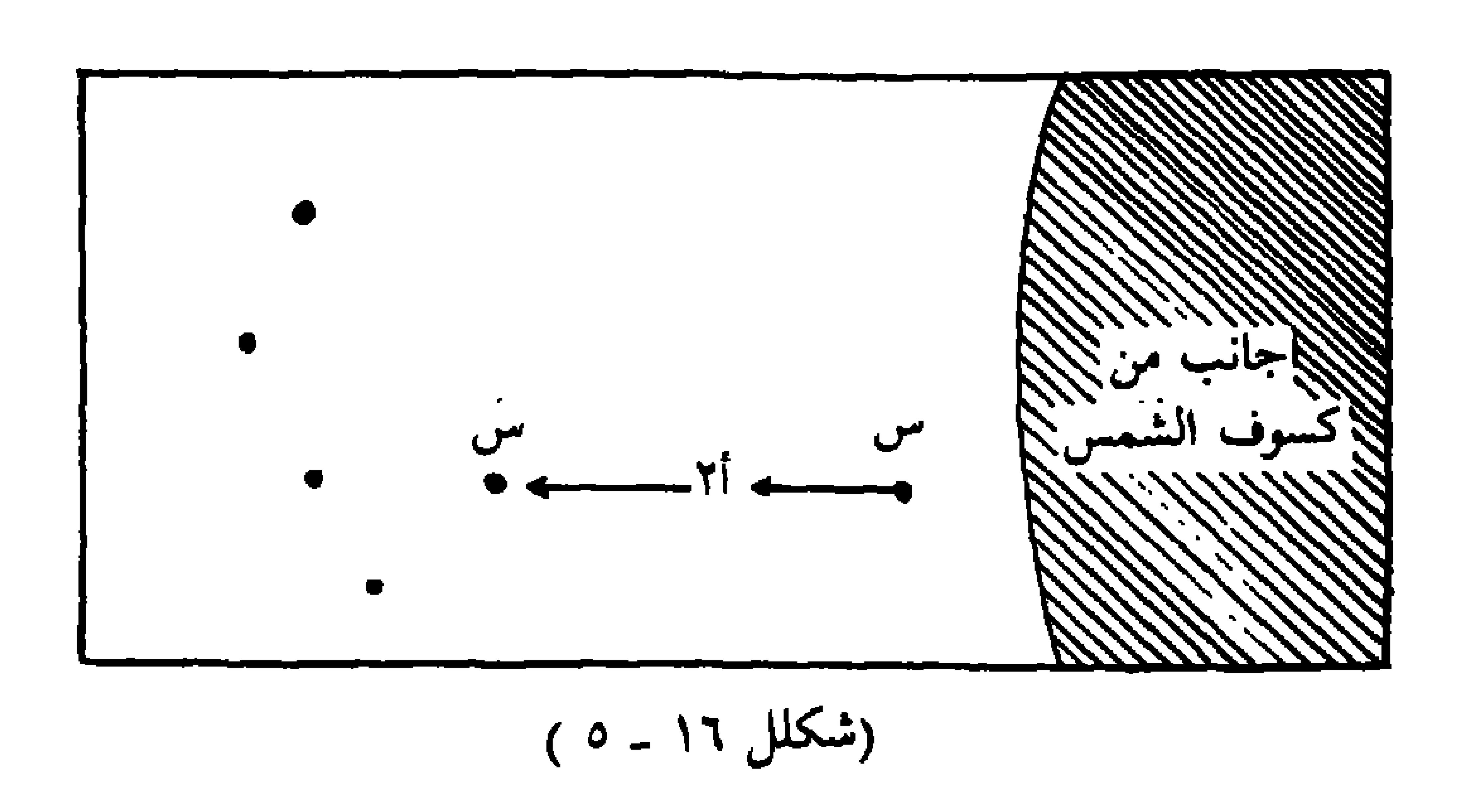
ولا ينسحب هذا الضبط على القوانين المتعلقة بالأجسام الفيزيائية فحسب، وإنما ينسحب ايضاً على القوانين المتعلقة بعلم البصريات. ويمكن أن ندرك هذا إذا افترضنا مسار شعاع صادر



(شكل ١٦ ـ ٤)

من نجم بعيد يمر بالقرب من الشمس ويتجه إلى الأرض. ويبين الشكل (١٦ ـ ٤) وجود الأرض على اليمين وقرص الشمس في المركز. عندما لا تكون الشمس في الموقع المبين، يأتي الضوء من النجم س (وهو النجم الذي في اقصى اليسار) ويصل بشكل طبيعي إلى الأرض عن طريق الخط المستقيم ل١ . أما إذا كانت الشمس في الموقع المبين، فإن الضوء المنبعث من النجم في جـ ينحرف، ومن ثم فهو يأخذ المسار ل٢ . أما النجم س فلأنه بعيد، بحيث يمكننا ملاحظة مسار كل من ل١ ول٢ (وهو الجزء الذي يقع على يسار النقطة جـ) بوصفهما متوازيين. ولكن إذا قاس عالم الفلك الزاوية أ٢ التي تقع بين النجم س والنجم الآخر س فسوف يجد أنها أصغر من الزاوية أ١ بمقدار ضئيل جداً. ومن ثم يبدو أن النجم س، كما هو مشاهد من الأرض، قد انحرف بشكل طفيف تجاه النجم سَ. وهذه بالطبع ملاحظة امبيريقية، وهي بالفعل واحدة من أهم البراهين الامبيريقية لنظرية اينشتين .

ولأن ضوء الشمس قوي، فإنه يمكننا رؤية أو تصوير النجوم التي تقع بالقرب من حوافها فقط، وذلك أثناء كسوف الشمس. ومثل هذه الصورة شبيهة إلى حد ما بالرسم المبين بالشكل (١٦ ـ ٥). وهو يشير إلى موضع النجم س بنقطة، أما النجوم الأخرى، بما فيها النجم سَ فيشار إليها بنقاط أخرى. وتحدد الزاوية الواقعة بين أشعة الضوء الصادرة من س و سَ عن طريق قياس المسافة بين س وسَ المبينة على اللوحة الفوتوغرافية. ويمكن مقارنة هذه المسافة بمسافة أخرى إذا أخذت الصورة الفوتوغرافية في وقت آخر، وكانت الشمس في موضع ما آخر. ولقد أجريت مثل هذه الاختبارات التاريخية لأول مرة عام ١٩١٩، وأعيد اجراؤها في العديد من الكسوفات المتأخرة، وقد أسفرت عن بيان انحراف ضئيل جداً في مواضع النجوم التي تقترب



(شكلل ١٦ ـ ٥)

من قرص الشمس، ومن ثم تحقق تنبؤ اينشتين الذي يقرر أن أشعة الضوء المارة بالقرب من الشمس لابد أن تنحرف بفعل قوى المجال الجاذبي للشمس .

ولقد أجرى فيندلاي فروندليتش «Findlay Freundlich» هذه القياسات لأول مرة من برج آينشتين في بوتسدام، الذي يقع بالقرب من برلين. وكنت في ذلك الوقت أقيم في فيينا، وأتذكر أن هانز رايشنباخ قام بزيارة إلى برلين، وتوجهنا سوياً لرؤية فروندليتش وهو يعمل في الدور الأسفل من البرج. ولقد أمضى عدة أيام يجري قياسات دقيقة لجميع مواضع النجوم، وكان ذلك على لوح فوتوغرافي مساحته حوالي عشر بوصات مربعة. وبمساعدة ميكروسكوب، تمكن من اجراء قياسات متكررة لاحداثيات كل نجم، وبعد ذلك أخذ متوسط تلك القياسات، لكي يحصل على أدق تقدير ممكن لموضع النجم. ورفض أن يسمح لأي من مساعديه باجراء هذه القياسات، فأجراها بنفسه ادراكاً منه للأهمية التاريخية القصوى لهذا الاختبار. وأعلن في النهاية أنه على الرغم من أن الانحراف الذي اكتشفه ضئيل للغاية الا أن المهم هو اكتشافه. ومن ثم كان هذا الاختبار تأييداً درامياً لنظرية اينشتين .

وهذا الموقف الذي يتعلق بانحراف أشعة الضوء بسبب المجال الجاذبي، لهو شبيه بالموقف المتعلق بالانكماش الواضح للأجسام الفيزيائية. وهنا مرة أخرى علينا أن نختار بين نظريتين لتفسير النتائج الامبيريقية، وكلاهما صحيح. فإذا اخترنا النظرية ت٢ (التي تتبنى الهندسة الاقليدية)، فإننا نضيف قوانين حديثة متعلقة بالبصريات، تصف لنا انحراف الضوء في مجالات جاذبية. ومن ناحية اخرى إذا اخترنا النظرية ت١ (التي تتبنى الهندسة اللاإقليدية) علينا أن نحتفظ بالفرض الكلاسيكي الذي يقرر أن الضوء لا ينحرف في الفضاء بسبب المجالات الجاذبية. وسوف نقوم بتفسير ذلك في الفصل التالي .

ومن الأهمية بمكان أن نفهم طبيعة هذا الاختبار بشكل كامل قبل أن نسأل عن ماهية البنية

الهندسية للمكان. اعتقد أن غموض هذه المسألة، والتعبير الموجز للردود التي قال بها بوانكاريه وآخرون، أدّت إلى إساءات تفسير لموقفهم إلى حد ما (رايشنباخ مثلاً). ولقد قال بوانكاريه أن الفيزيائي يمكنه أن يختار بين هندسة اقليدية وأي شكل آخر من هندسة لااقـليدية. ولأن بوانكاريه ذهب إلى أن مسألة الاختيار إنما هي مسألة مواضعة، فقد أصبحت وجهة نظره هذه معروفة بوجهة النظر المواضعية. وفي رأيي أن بوانكاريه كان يعني بعملية الاختيار هذه أن على الفيزيائي أن يختار قبل أن يقرر أي الطرق التي ينبغي اتباعها في قياس الطول. أما بعد عملية الاختبار فإنه يستطيع أن يكيّف منهجه في القياس، وهذا يقوده إلى نموذج الهندسة التي سبق أن اختارها. فإذا ما تم قبول منهج القياس مرة واحدة، فإن مسألة بنية المكان، تصبح مسألة امبيريقية تقرر بالملاحظات. وعلى الرغم من أن بوانكاريه لم يكن واضحاً على الدوام في هذه النقطة، إلا أن سياق كتاباته تشير إلى هذا المعنى. وفي رأيي أنه ليس ثمة إختلاف بين رايشنباخ وبوانكاريه في هذه المسألة. صحيح ان رايشنباخ قد انتقد بوانكاريه لكونه مواضعياً لـم ير المظهر الامبيريقي للمسألة التي تدور حول البنية الهندسية للمكان، ولكن الحقيقة أن بوانكاريه كان معنياً فقط بالاختيار المبدئي لعالم الفيزياء (الهندسية) وكان حديثه في ذلك موجزاً. ولكن كليهما رأى بوضوح انه إذا تم ولو لمرة واحدة تبني طريقة مناسبة للقياس، فإن مسألة البنية الهندسية للمكان تصبح مشكلة امبيريقية لا تحل الا باجراء الملاحظات المناسبة .

غير أن المظهر الامبيريقي لهذه المشكلة قد ظهر بوضوح حينما طرح سؤال هام في السنوات القليلة الماضية، وكان قد نوقش كثيراً في السنوات المبكرة النظرية النسبية، وهذا السؤال هو: هل الفضاء الكلي للكون نهائي أم غير نهائي؟ وكما أشرنا من قبل، فإن اينشتين قد اقترح ذات مرة نموذجاً للكون اعتقد فيه انه مماثل لسطح جسم كروي. فإذا كان هناك مخلوقان يبعدان عن بعضهما البعض على هذا السطح الكروي، فإنه يبدو لكل منهما بوصفه نهائياً وغير محدود، فهو نهائي لأنه سطح مكتمل تم اكتشافه، وأمكن حساب مساحته، وهو غير محدود بمعنى أنه يمكن للشخص ان يتحرك دائماً في أي اتجاه ومن أي موقع دون ان يعترضه حد من أي نوع. إذ ان المكان في نموذج اينشتين ثلاثي الأبعاد، نظر اليه من وجهة نظر رباعية الأبعاد، وهو مكان منحنٍ موجب، ومن ثم فهو ينغلق على نفسه مثلما ينغلق سطح الجسم الكروي. فإذا انطلقت سفينة فضاء من أي اتجاه في خط مستقيم، فإنها تعود في نهاية الأمر إلى النقطة التي بدأت منها. وهذا شبيه بطائرة تتحرك في محازاة الدائرة الكبرى للكرة الأرضية ، فإنها تعود إلى حيث بدأت. وكان هناك تخمين بأنه يمكن رؤية مجرة إذا ما تم وضع تليسكوب قوي في الاتجاه المقابل لتلك المجرة .

إذن كيف تسنى لاينشتين أن يفكر في الكون المكتمل بوصفه كوناً منحنياً موجباً، وهو يؤكد

في نفس الوقت أن المنحنى لابد أن يكون سالباً في المجالات الجاذبية؟ الحقيقة أن هذه المسألة، تظل بالنسبة لعالم الفيزياء، مهمة عقلية عسيرة، ولكنها ذات أهمية. والإجابة ليست صعبة، ولكن ربما يكون السؤال في حد ذاته محيراً إذا لم نفكر فيه بعمق. افترض مثلاً سطح كرة أرضية، لابد أن يكون له منحن موجب مكتمل. ومع ذلك فإن هذا السطح مليء بالوديان ذات الانحناءات السالبة. وبالمثل، نموذج اينشتين الكوني يحتوي على وديان «ذات انحناءات سالبة في مجالات جاذبية قوية، ولكنه يستعيد توازنه عن طريق انحناءات موجبة أقوى، وذلك من خلال كتل ضخمة مثل النجوم الثابتة. فمثل هذه النجوم في الكون تماثل قمم الجبال ذات الانحناءات الموجبة القوية على سطح الأرض، ولقد كان مقدراً انه يمكن أن يكون للكون انحناء موجب كامل فقط إذا كان معدل كثافة كتلته عالياً بقدر كاف. واليوم، وبعد الفرضية التي تقول بتمدد الكون، والحسابات الحالية لكمية المادة في العالم جعلت النموذج النهائي المغلق الذي قال به اينشتين يبدو بعيد الاحتمال. وربما تظل المسألة معلقة، لأن هناك قدراً كبيراً من اللاتعين حول مقاييس الكتل والمسافات، كما أن الهيدروجين ربما ينتشر فيما كان يعتقد سابقاً انه المكان الخالي «Empty Space»، وسوف يزيد هذا من معدل كثافة كتلة الكون. على أية حال، حلم اينشتين الجميل بالعالم المغلق، وغير المحدود، يبدو بالتأكيد الآن أقل احتمالاً مما كان عليه وقت ما افترضه لأول مرة. غير أن النقطة التي أشدد عليها هنا هي ان الدليل الذي يؤيد أو يعارض هذا النموذج الكوني، إنما هو دليل امبيريقي. وفي الوقت الحالي، وعلى الرغم من أن هناك قبولاً عاماً للهندسة اللااقليدية التي تبنتها نظرية النسبية، إلا أنه ليس ثمة نموذج كوني وحيد يقبله جميع الفلكيين والفيزيائيين.

وكما رأينا، لقد كان في استطاعة الفيزيائيين ان يحتفظوا بالهندسة الاقليدية (كما تنبأ بوانكاريه خطأ انهم سيفعلون) كما كان في استطاعتهم أن يفسروا الملاحظات الحديثة عن طريق إدخال عوامل تصحيح حديثة إلى القوانين الميكانيكية والبصرية. ولكنهم بدلاً من ذلك اختاروا أن يتبعوا اينشتين في استبعاده للهندسة الاقليدية. فعلى أي أساس اتخذوا مثل هذا القرار؟ هل كان ذلك لدواعي البساطة؟ إذا كان الأمر كذلك، فأي بساطة يعنون؟ ان الاطروحة الاقليدية أبسط بكثير في الهندسة، ولكنها اعقد بكثير في القوانين الفيزيائية. كما أن الأطروحة اللااقليدية أعقد بكثير في الهندسة، ولكنها أبسط بكثير في القوانين الفيزيائية. إذن كيف يمكن اتخاذ قرار في تبني اطروحة منهما واستبعاد الأخرى على الرغم من أن كليهما ابسط من الأخرى من جهة ما؟ ولسوف تنصب محاولتنا في الفصل التالي على الإجابة عن هذا السؤال.

* * *

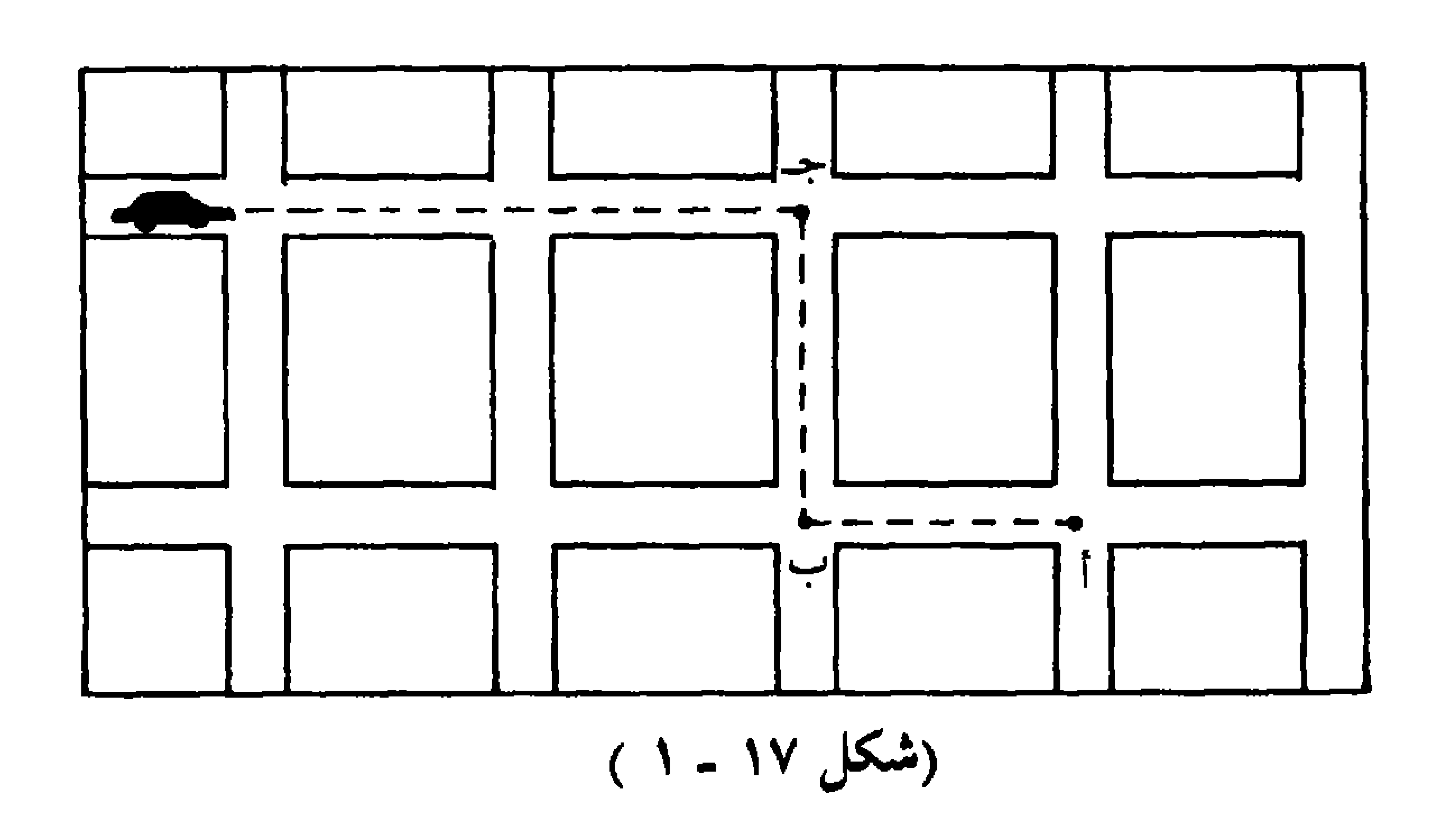
الفصل السَابع عَشر

فوائِد الهندسَة الفيزيائية اللااقليدية

إذا كنا بصدد البحث عن قاعدة يتم على أساسها الاختيار بين بنية هندسة اقـيليـدية أو لااقليدية للمكان الفيزيائي، فلا بد أن تتملكنا رغبة مبدئية في ان نختار الاطروحة التي تزودنا بأبسط منهج لقياس الطول. وبكلمات أخرى، علينا أن نتجنب قدر المستطاع، ادخال عوامل تصحيح إلى مناهج القياس. ولسوء الحظ إذا أخذنا بهذه القاعدة حرفياً، لتوصلنا إلى نتائج خيالية. إن أبسط وسيلة لقياس الطول هي أن نختار قضيب قياس ثم نعرف وحدة الطول طبقاً لطول ذلك القضيب، دون ادخال اية عوامل تصحيح على الاطلاق. وبغض النظر عن درجة حرارة القضيب، أو ما إذا كان ممغنطاً أو مطاطياً، وبغض النظر عما إذا كان في مجال جاذبي قوي أو ضعيف، بغض النظر عن كل هذا، فإننا نأخذه بوصفه وحدة للطول. وكما أوضحنا من قبل، ليس ثمة تناقض منطقي في أن تبنى وحدة الطول هذه، أو أن نجد طريقة أخرى لاستبعاد هذا الاختيار عن طريق وقائع مشاهدة. ومع ذلك، ينبغي أن ندفع ثمناً غالياً لمثل هذا الاختيار، لأنه يؤدي إلى صورة غريبة للعالـم ومعقدة بشكل لا يمكن تصديقه. ومن الضروري ان نقول، على سبيل المثال، انه عند وضع وهج على هذا القضيب فكل الموضوعات الأخرى في الكون، بما في ذلك الأجرام الأكثر بعداً، تنكمش في الحال. ولنا أن نتوقع أنه لا يمكن لفيزيائي أن يقبل تبني أبسط تعريف ممكن للطول، ويؤدي في نفس الوقت إلى نتائج غريبة في القوانين الفيزيائية .

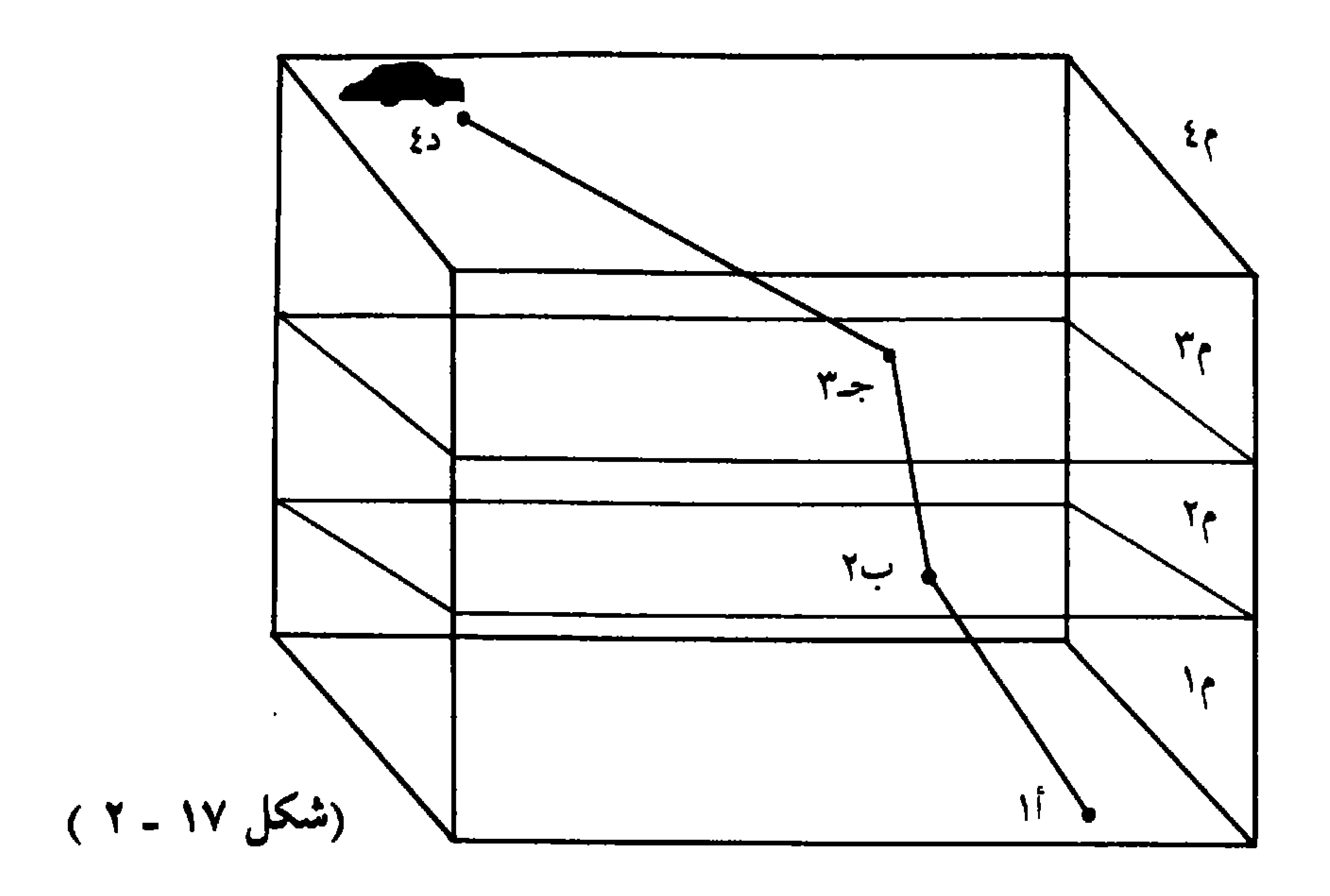
على أي أساس اذن فضل اينشتين وتابعوه اختيار الهندسة اللااقليدية الأكثر تعقيداً؟ الإجابة هي انهم لم يؤسسوا الاختيار من جهة بساطة الهندسة، ولم ينظروا إلى الموقف من ناحية مظهره الجزئي، ولكن بالأحرى من جهة البساطة التامة للنظام الفيزيائي الكلّي، والتي ستترتب

على هذا الاختيار. ومن وجهة النظر الكلية هذه، لا يسعنا إلا أن نوافق اينشتين على أننا إذا تبنينا الهندسة اللاإقليدية فإننا نفوز في الحقيقة بالبساطة المنشودة. لأننا إذا تبنينا الهندسة الاقليدية، لكان على الفيزياء أن تخترع قوانين سحرية تعالج بها انكماش وتمدد الأجسام الصلبة، وانحراف أشعة الضوء في مجـالات جاذبية. أما إذا تبنينا الهندسة اللاقليدية فإن قوانين الفيزياء تصبح بسيطة للغاية. لأننا، في المقام الأول لن نضطر إلى إدخال قوانين حديثة تعالج انكماش الأجسام الصلبة وانحراف أشعة الضوء. وأكثر من ذلك فإن القوانين القديمة المتحكمة في حركات الأجسام مثل مسارات الكواكب حول الشمس، سوف تصبح بسيطة إلى حد كبير. بل ان قـوّة الجاذبية ذاتها ستختفي إلى حد ما من الصورة. وبدلاً من «القوة» هذه نتحدث فقط عن حركة موضوع في مسار «الخطّ الكوني الطبيعي» Its «Natural Morld - Line» ويتطلب هذا بدرجة ما، الهندسة اللاقليدية التي تعالج نظام الزمان ـ المكان.



(شكل ١٧ ـ ١)

ويمكن تفسير مفهوم «الخط الكوني» بهذا المثال. افترض انك ترغب في رسم مسار سيارتك م، التي سبق لك قيادتها في شوارع لوس انجلوس على خريطة رسماً بيانياً. يبين الشكل (١٧ ـ ١) هذه الخريطة موضحاً مسار السيارة بالخط أ ب جـ د. إن هذا الخط يوضح تماماً مسار السيارة في الشوارع ولكنه لا يوضح بالطبع أي شيء عن سرعة السيارة. إذ ان عنصر الزمن هنا مفتقد. إذن كيف يتسنى لنا رسم مسار السيارة مع وضع زمن وسرعة السيارة في الاعتبار؟ يمكننا ذلك إذا رسمنا سلسلة من الخرائط م١، م٢. . . . مرسوم كل منها على صفحة شفافة من البلاستيك كما هو موضح في الشكل (١٧ ـ ٢). نضع على م١ العلامة أ١ (بحيث تنطبق على أ في الخريطة الأصلية م) وحيث كانت سيارتك في نقطة الزمن الأولى ت١. ونضع علامة على م٢



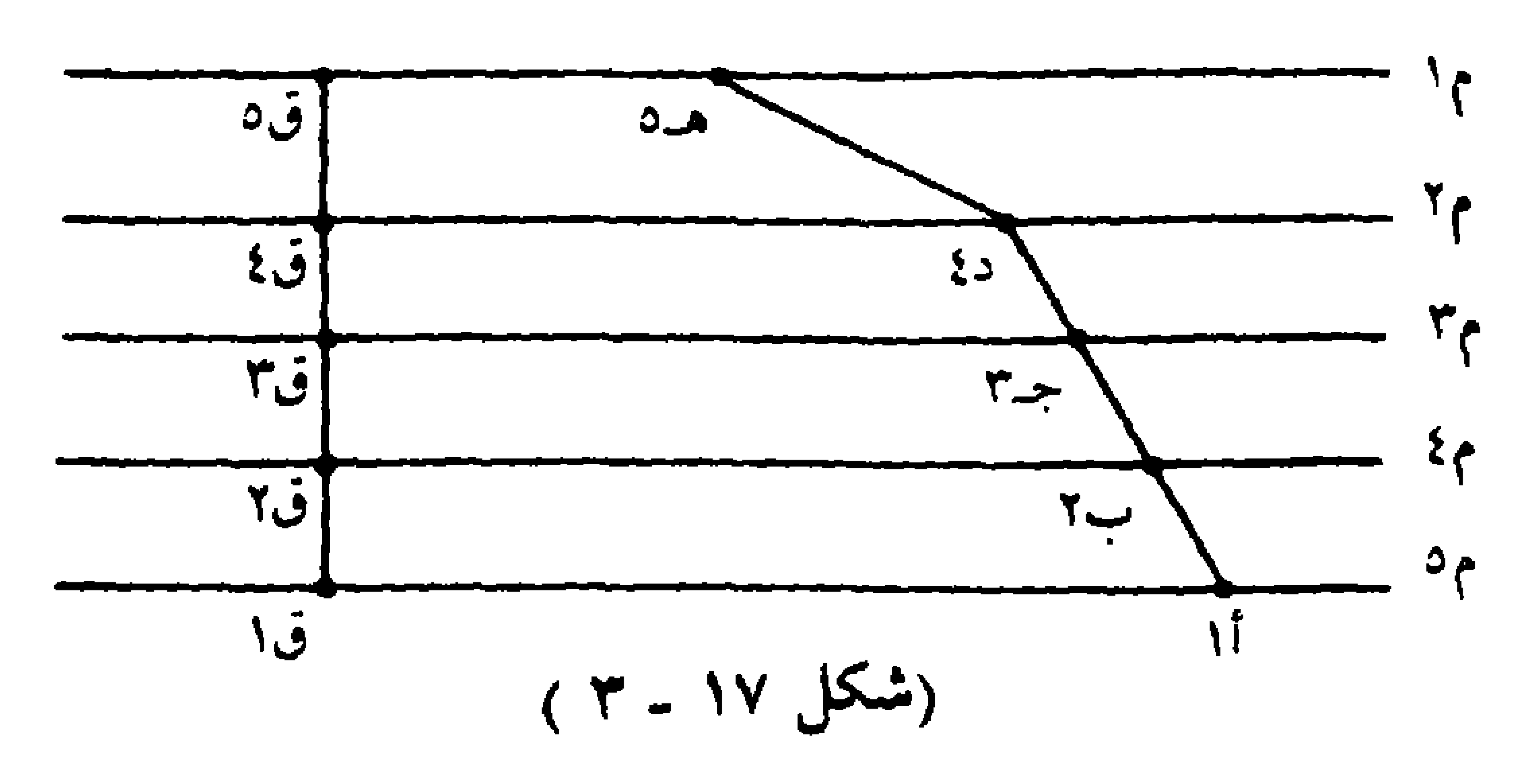
(شكل ١٧ ـ ٢)

في موقع السيارة ت٢ في الزمن التالي ت٢ (وليكن عشرين ثانية بعد ت١). وتوضح م٣، م٤ موقع كل من جـ٣ ود٤ للسيارة في نقطتي الزمن ت٣ وت٤ .

اننا نضع الخرائط في اطار يؤلف كل منها متوازياً فوق الآخر، وليكن بمسافة عشر بوصات، بحيث يساوي المقياس الرأسي للبوصة الواحدة، ثانيتين من الزمن. فإذا وضعنا سلكاً يربط بين النقاط الأربع، فإن هذا السلك يؤلف الخط الكوني لحركة السيارة. وهو يبين لنا ليس فقط مكان السيارة في كل لحظة وإنما سرعتها أيضاً، على اساس انها تتحرك من نقطة إلى أخرى .

وهناك مثال أبسط للخط الكوني، يسهل توضيحه إذا كانت السيارة تسير في طريق ذي بعد واحد، في خط مستقيم، ويمكن تمثيله بشارع عريض على جانبيه اشجار. ويبين الشكل (١٧ ـ ٣) الخط الكوني لهذه الحالة، بحيث يمثل المحور الافقي المسافة، والمحور الرأسي الزمن بالدقائق .

تبدأ حركة السيـارة في الزمن م١، من الموقع أ١، ثم تتحرك بسرعة ثابتة من أ١ إلى د٤ في الدقائق الثلاث الأولى. أما من د٤ إلى هـ٥ فإن سرعة السيارة تكون ثابتة، ولكنها أكبر من ذي قبل، إذ ان المسافة الأكبر تستغرق دقيقة. وأثناء الدقائق الأربع ذاتها، كان يقف رجل على الخط ـ الكوني في النقطة ق ـ كما هو مبين بالرسم ـ ولأنه لم يتحرك فإن خطه ـ الكوني ظل مستقيماً. ويتضح من هذا الرسم أن الخط ـ الكوني ينحرف أكثر فأكثر عندما تزداد السرعة، وإذا ظلت السرعة ثابتة فإنه ينحرف ايضاً ولا يكون مستقيماً. وبهذه الطريقة يشير الخط إلى كل صور



(شكل ١٧ ـ ٣)

الحركة الفعلية، كما انه يوضح سرعة الموضوع في كل لحظة من الزمن، حتى إذا كانت هذه السرعة في زيادة أو نقصان .

ويجدر بنا أن نعرف أن الموضوع اذا كان يتحرك في طريق ذي بعد واحد، فإنه يمكن رسم الخط ـ الكوني على سطح مستو، أما إذا كان الطريق ذا بعدين، كما في المثال الأول فإن الخط ـ الكوني يرسم بيانياً على خريطة ذات ثلاثة أبعاد. وإذا كان الموضوع يتحرك في مكان ثلاثي الأبعاد، فإن الخط ـ الكوني يرسم على هيئة سلسلة من الخرائط ثلاثية الأبعاد بحيث تكوّن نظاماً رباعي الأبعاد بنفس الطريقة التي تكوّن بها سلسلة من الخرائط البلاستيك ثنائية الأبعاد، نظاماً ثلاثي الأبعاد. ومن ثم فإنه لا يمكن رسم نموذج فعلي لخريطة رباعية الأبعاد تحتوي على خط ـ كوني رباعي الأبعاد أيضاً. ولكن يمكن في هذه الحالة ان نصف الخط ـ الكوني رياضياً. ولقد أدخل هيرمان مينكوفسكي Herman Minkowski جدولاً خاصاً بهذا الشأن، أدى بالفعل إلى صياغة بسيطة. وعندما تم تطبيق هذا الجدول على قوانين أشعة الضوء، وحركة الأجسام كالكواكب، مع الأخذ في الاعتبار الخط ـ الكوني لاشعة الضوء، والكواكب في كل المجالات الجاذبية، مال هذا الخط إلى أن يكون خطاً جيوديسياً. وكما شرحنا من قبل، فإن الخط الجيوديسي يعد من اكثر الخطوط الممكنة، استقامة في نظام مكاني مفترض، ومن تم لا يحتاج نظام المكان ان يكون له منحن ثابت. ففي سطح الأرض مثلاً، وبرغم الجبال والوديان غير المنتظمة، يظل في الامكان دائماً أن نعثر على واحد أو أكثر من الخطوط الجيوديسية التي تمثل أقصر الطرق الممكنة بين أي نقطتين مفترضتين والخطوط الجيوديسية ما هي الا نسخ طبق الأصل للخطوط المستقيمة في السطح الاقليدي المستوي .

إن الخطوط الكونيـة للكواكب وأشعة الضوء في نظرية النسبية، جيوديسية ـ وكما يقال في الفيزياء الكلاسيكية، إن الجسم يتحرك بقصوره الذاتي في خط مستقيم وبسرعة ثابتة ـ أي في خط ـ كوني مستقيم ـ إذا لم تعترضه قوة خارجية. يقال أيضاً في نظرية النسبية أن الجسم يتحرك

في المجالات الجاذبية، في خطوط ـ كونية جيوديسية. ويستغني في هذه الحالة عن مفهوم «القوة».

لأننا إذا تساءلنا هنا: لماذا يدور كوكب حول الشمس فإن الإجابة لا تكون لأن هناك «قوة» «تجذب» الكوكب نحوها؛ وإنما تكون الإجابة: لأن كتلة الشمس تحدث منحنياً سلبياً في البنية، اللاإقليدية للمكان ـ الزمان. وفي البنية المنحنية تكون أكثر الخطوط ـ الكونية إستقامة بالنسبة للكوكب، هي الخطوط الجيوديسية؛ فهي تنطبق بالفعل على الحركة الفعلية للكوكب حول الشمس. أما المسار الاهليلجي للكوكب في المكان ثلاثي الأبعاد، ليس جيوديسياً، وإنما خطّه ـ الكوني في النظام رباعي الأبعاد للمكان ـ الزمان. اللاإقليدي فهو جيوديسي. لأن الخط الجيوديسي من أكثر الخطوط الممكنة إستقامة بالنسبة للكوكب. ونفس الشيء ينطبق على مسار الضوء. ومن وجهة النظر اللاإقليدية لنظرية النسبية، ليس ثمّة قوّة للجاذبية، سواء أكانت مطاطية أو اليكترومغناطيسية. إذ أن الجاذبية تختفي كما تختفي القوة من الفيزياء، وتحلّ محلها البنية الهندسية لنظام المكان ـ الزمان رباعي الأبعاد. كان ذلك هو التحوّل الثوري. ومن اليسير أن ندرك سبب فشل العديد من فهمه بشكل صحيح. فقد اعتقد البعض أن جانباً هاماً من الفيزياء قد ألغي وحل محله الهندسة البحتة، أو أن جانباً هاماً من الفيزياء قد تحوّل إلى رياضيات. وفكر البعض الآخر في إمكانية أن تتحول الفيزياء في يوم ما إلى رياضيات. وأعتقد إن هذا كله إنما هو تضليل. إذ أن الكتّاب الذين حاولوا أن يجعلوا نظرية النسبية أكثر إلفة للرجل العادي، كانوا مولعين باستخدام عبارات مثيرة ولكنها متناقضة. وربما كان يمكن لمثل هذه العبارات أن تقدّم إسهاماً في كتابة مفعمة بالحياة، ولكنها تخفق في الغالب، في إعطاء انطباع دقيق عن الحالة الصحيحة. وأعتقد أنهم بذلك إنما يخلطون بين الهندسة بمعناها الرياضي، والهندسة بمعناها الفيزيائي. لقد حلت الهندسة الفيزيائية للمكان، أو على نحو أكثر دقة، نظام المكان ـ الزمان في نظرية النسبية محل فيزياء الجاذبية، ولكن تظلّ هذه الهندسة جزءاً من الفيزياء، إذ أنها ليست رياضة بحتة، بل إنها هندسة فيزيائية وليست رياضية.

إن الهندسة الرياضية منطقية بشكل بحت بينها الهندسة الفيزيائية نظرية امبيريقية. ولقد اتخذت الجاذبية في نظرية النسبية لاينشتين شكلاً آخر. إذ تحولت النظرية الفيزيائية للجاذبية إلى نظرية فيزيائية أخرى، ولم يعد ينطبق مفهوم القوة. ومع ذلك تظل النظرية النسبية للجاذبية منتمية إلى الفيزياء وليس إلى الرياضة. ومع أن المقادير الرياضية (كتوزيعات منحنى المكان ـ الزمان) تستخدم في هذه النظرية إلا أنها تعد مقادير فيزيائية وليست مفاهيم رياضية. والنقطة التي أود أن أشدد عليها هنا. إن إطلاق اسم هندسة على نظرية الجاذبية لاينشتين قد أغرى البعض بالنظر إليها بوصفها رياضة بحتة، ولكن الهندسة الفيزيائية ليست رياضية، كما سبق

القول، وإنما هي نظرية في المكان الفيزيائي. إنها ليست تجريداً أجوف وإنما هي نظرية فيزيائية في سلوك الأجسام الضوئية، ولذلك لا يجدر بنا أن ننظر إليها بوصفها جزءاً من الرياضيات البحتة. ولقد ذكرت من قبل ملاحظة جاليليو الشهيرة «Cum Grano Salis» «ان الطبيعة كتاب مكتوب بلغة رياضية» إلاّ أن هذه العبارة قد أسيء فهمها إلى حدٍ بعيد. لقد كان جاليليو يعني أن الطبيعة يمكن وصفها بمساعدة المفاهيم الرياضية، ولا يعني أن اللغة الكلية للفيزياء تتكون من رموز رياضية. إذ من رابع المستحيلات أن نعرّف مفهوم «الكتلة» مثلاً أو «درجة الحرارة» عن طريق الرياضيات البحتة بنفس الطريقة التي نعرّف بها مفهوم اللوغاريتهات أو أية مفاهيم رياضية أخرى. ومن ثم يصبح من الضروري أن نتحقق من وجود اختلاف أساسي بين الرموز الفيزيائية المستخدمة في قانون فيزيائي(مثل «ك» للكتلة، و «ح» لدرجة الحرارة) وبين الرموز الرياضية التي تستخدم في الرياضة «مثل «٢» و«$\sqrt{}$» و«لوغاريتم» و«جيب تمام») .

إن البساطة الشديدة التي تتصف بها معادلات اينشتين في معالجة حركة الأجسام والأشعة الضوئية كانت بالتأكيد تعضد موقفه الخاص بتفضيل الهندسة اللااقليدية، حيث إن الهندسة الاقليدية تتطلب إدخال عوامل تصحيح مما يسبب تعقيداً للمعادلات. ومع ذلك، فإن هذا لا يعد اكتشافاً لأي نوع من المبادىء العامة التي يمكن أن ترشدنا إلى كيفية الوصول إلى البساطة الشديدة في حالة اختيارنا بين بدائل متعددة في الفيزياء .

والمطلوب هو قاعدة عامة للاختيار، تصلح لكل المواقف المستقبلية. ومن ثم قد يكون اختيار اينشتين لهذا الموقف مجرد حالة خاصة لقاعدة عامة. إذ انه قد افترض بالطبع أن أبسط نظام كامل للفيزياء هو الذي ينبغي أن نفضله، ولكن المسألة ليست كذلك. المسألة هي كيف نقرر أي نظام من النظامين له البساطة القصوى التامة. إذ عندما نواجه بنظامين متنافسين، فإننا نجد في الغالب، أن كلاً منهما أبسط من الآخر من جهة ما. وفي حالات مثل هذه، كيف يتسنى لنا قياس البساطة التامة؟ .

والحقيقة أن الفضل يرجع إلى رايشنباخ في افتراضه قاعدة عامة لهذا النوع. وقد لا تكون قاعدته عامة تماماً، ولكنها تغطي نوعاً واسعاً من المواقف، ولذلك فهي جديرة بالاهتمام. غير أن لدي انطباع بأنها لم تنل الاهتمام الكافي. إن هذه القاعدة تعتمد على التمييز بين «القوى التفاضلية» «Differential Forces» و«القوى الكلية» «Universal Forces». وإذا كان ريشنباخ قد أطلق عليهما اسم «القوى» فإننا نفضل أن نتحدث عنهما هنا بطريقة أكثر عمومية ونجعلهما نوعين من النتائج (ويمكن ادخال القوى فيما بعد لتفسير النتائج). وإليك التمييز الذي اقترحه

رايشنباخ: إذ كانت النتيجة مغايرة لعناصر مختلفة فهي نتيجة تفاضلية، أما إذا كانت النتيجة مماثلة كمياً، بغض النظر عن طبيعة العنصر، فهي نتيجة كلية.

ويمكن توضيح هذا بأمثلة. عند تسخين قضيب من الحديد، فإنه يتمدد. وإذا أردت تعريف الطول عن طريق قضيب الحديد، فلابد أن تضع في الاعتبار نتيجة التمدد الحراري (كما هو مبين من قبل) وذلك بإدخال عامل تصحيح:

$$\text{ل} = \text{ل}_{\text{صفر}} [\,١ + \text{بيتا}\,(\text{ت} - \text{ت}_{\text{صفر}})\,]$$

وتعد البيتا في هذه الصياغة معامل التمدد الحراري، لأنها ثابتة، ولكن بالنسبة لجميع أجسام عنصر معين فقط. فإذا كان القضيب من حديد، فإن بيتا تساوي قيمة معينة، أما إذا كان القضيب من نحاس أو ذهب أو أي عنصر آخر لكانت لبيتا قيم مختلفة. ومن ثم يتضح أن تمدد الحديد عند تسخينه إنما هو نتيجة تفاضلية لأنه يختلف عن العنصر. افترض وجود صياغة اخرى للطول بعد إضافة عامل تصحيح آخر يضع في الاعتبار تأثير الجاذبية على طول القضيب. لعلك تتذكر أن هذه الصياغة هي:

$$\text{ل} = \text{ل}_{\text{صفر}} [\,١ + \text{بيتا}\,(\text{ت} - \text{ت}_{\text{صفر}})\,] \quad [\,١ - \text{ن}\,(\frac{\text{ك}}{\text{ر}}\,\text{جيب تمام}\,\Phi^{٢})\,]$$

وتعد ن عامل تصحيح ثانياً، وهذا العامل ثابت كلي أيضاً، غير أن هذا الثابت لا يتغير بتغير الاجسام في كل مجال جاذبي. ويأخذ عامل التصحيح في الاعتبار كتلة الشمس ك، والمسافة من الشمس إلى قضيب القياس ر. وزاوية القضيب التي تمثل الخط الواصل من نصف قطر الشمس إلى القضيب Φ. وهو لا يشير ما إذا كان القضيب حديداً أم نحاساً أم أي عنصر آخر، ولذلك فهي نتيجة كلية.

ويؤكد رايشنباخ بين الفينة والأخرى على عدم وجود حائل من أي نوع يمكن أن يحول بين عمل النتائج الكلية. فقد يُحجب مثلاً قضيب معدني من المؤثرات الحرارية إذا ما أحيط بحائط من الحديد، ولكن ليس ثمة وسيلة لحجب مؤثرات الجاذبية. وفي رأيي، ليس من الضروري أن نتحدث عن حوائل بغية التمييز بين النتائج التفاضلية والنتائج الكلية، لأن هذا الشرط كما سبق أن أشرنا، إنما هو متضمن بالفعل. فإذا تم بناء حائط من الحديد لحجب تأثير آلة ممغنطة على الحجرة التالية، فإن هذا الحائل يكون فعالاً، فقط لأن حائط الحديد يتأثر بالمجالات المغناطيسية بشكل مختلف عن تأثير الهواء بها. وإذا كان الأمر على خلاف ذلك لما صلح الحائل. ومن ثم فإن

مفهوم الحجب «Shelding» ينطبق فقط على المؤثرات المختلفة للمواد المختلفة، أما إذا كان التأثير الكلي واحداً بالنسبة إلى كل المواد، لترتب على ذلك استحالة تأثير الحجاب .

وفي تحليل تفصيلي للتأثيرات التفاضلية والكلّية، يدعو رايشنباخ إلى تركيز الانتباه على الحقيقة التالية: افترض أن شخصاً ما، ذكر انه قد نجح في اكتشاف تأثير جديد تماماً لا يختلف من مادة إلى أخرى. وإن القانون الذي قدمه لهذا التأثير الجديد تم اختباره، وثبت أن ما يقوله صحيحاً. يؤكد رايشنباخ على أنه في حالات من هذا النوع يمكن للنظرية أن تصاغ بحيث يختفي التأثير الكلّي تماماً.

ولا توجد طريقة للمقارنة تساعدنا على حذف تأثير تفاضلي كالتمدد الحراري مثلاً. لأن التأكيد على عدم وجود تأثيرات للتمدد الحراري يمكن دحضه ببساطة. إذا وضعت قضيبين من مواد مختلفة كل منهما بجانب الآخر، وقمت بتسخينهما معاً بنفس درجة الحرارة العالية فإنك سوف تلاحظ اختلاف أطوالهما. اذن من الواضح أن شيئاً ما قد تغير، ولكن ليس ثمة طريقة لحساب هذا التغير الملاحظ دون ادخال مفهوم التمدد الحراري. ومن ناحية اخرى يمكن حساب التأثير الكلي للجاذبية على أطوال القضبان، إذا تبنيت نظرية يزول معها التأثير تماماً. وهذا بالتحديد ما حدث في نظرية النسبية لاينشتين. لأن تبني نظام مناسب للمكان ـ الزمان اللااقليدي يزيل معه الحاجة إلى الحديث عن تمدد وانكماش الأجسام في المجالات الجاذبية. فالأجسام لا تغير من أحجامها عند دورانها في مثل هذه المجالات. ولكن بنية المكان ـ الزمان في هذه النظرية يختلف عن الموقف السابق المتعلق بالتمدد الحراري، الذي نفتقد فيه الوسيلة التي نبين بها ان حذف هذا التأثير الجاذبي مستحيل. إذ أن للمجالات الجاذبية نفس التأثير تماماً على جميع المواد. فإذا وضعنا قضيبين كل منهما بجانب الآخر، وحركناهما في اتجاهات مختلفة، فإن اطوالهما تظل هي هي كل منهما بالنسبة إلى الآخر.

وبالنظر إلى هذه الإعتبارات، إقترح رايشنباخ هذه القاعدة لتبسيط النظرية الفيزيائية: في أي نظام للفيزياء يتأكد فيه تأثير كلي معين، عن طريق قانون، يعين تحت أي شرط، وفي أي كمية يحدث هذا التأثير، ينبغي تعديل النظرية بحيث تختزل كمية التأثير إلى الصفر. وهذا بالضبط ما فعله اينشتين بصدد انكماش وتمدد الأجسام في المجالات الجاذبية. أما من وجهة النظر الاقليدية، فإن مثل هذه التغيرات تحدث، ولكن وجد ان لها تأثيرات كلية. ومع ذلك فإن تبني نظام مكان ـ زمان لا اقليدي يتسبب في أن تصبح هذه التأثيرات صفراً. وهناك تأثيرات أخرى معينة مثل امكانية وجود زوايا مثلث لا يصل مجموعها إلى ١٨٠ درجة ولكن ليس من الضروري

أن نتحدث عن تمددات وإنكماشات لأجسام صلبة. ومن ثم أكدّ رايشنباخ على أنه عند وجود تأثيرات كلية في الفيزياء، فإننا يمكننا حذفها عن طريق تعديل مناسب في النظرية، لأن هذا التعديل يكون من نتيجته أننا نفوز بمبدأ البساطة. وهو مبدأ عام مفيد، يستأهل منا أن نوليه اهتماماً اكبر من ذي قبل. لأنه لا ينطبق على نظرية النسبية فحسب، وإنما ينطبق أيضاً على المواقف التي يمكن أن تنشأ في المستقبل، والتي قد تكتشف من خلالها تأثيرات كلية أخرى. فإذا استبعدنا هذه القاعدة، لن يكون في مقدورنا اعطاء اجابة فريدة واضحة عن السؤال: ما هي بنية المكان؟ أما إذا تبنينا هذه القاعدة، لن يصبح هذا السؤال غامضاً.

عندما اقترح اينشتين لأول مرة هندسة لااقـليدية للمكان، واجهته اعتراضات قوية. كان من بينها اعتراض دنجلر «Dingler» وآخرين بأن الهندسة الاقليدية لا غنى عنها، لأننا نفترضها بالفعل في تشييد أدوات قياسنا. ولكن، وكما تبين فيما بعد، فإن هذا الاعتراض باطل بالتأكيد. وهناك اعتراض آخر أكثر عمومية، وهو اننا لا ينبغي أن نتبنى الهندسة اللااقليدية، لأننا من وجهة النظر الفلسفية، لا نستطيع، بل من المستحيل أن نتخيلها، فهي على النقيض من طرق تفكيرنا، من حدسنا. ولقد تم التعبير عن هذا الاعتراض بطريقة كانطية، وفي بعض الأحيان بطريقة فينومينولوجية (المصطلحات المختلفة) ولكن بوجه عام كانت وجهة النظر هي ان عقولنا فيما يبدو تعمل بذلك النمط الذي لا يمكن أن نتصور فيه أي نوع من البنية المكانية اللااقليدية.

ولقد ناقش رايشنباخ وجهة النظر هذه، وأطلق عليها اسم المشكلة السيكولوجية، وأعتقد أنه على حق في هذه التسمية، ولقد ذهب إلى أنه ليس ثمة أسس لافتراض ان حدوسنا قد تشكلت بطريقة اقليدية، بل إن هناك، على العكس من ذلك أسباباً وجيهة للاعتقاد بأن المكان المتصور إنما هو مكان لااقـليدي، على الأقل بالنسبة إلى طفل، إذ ان الذي يطلقون عليه اسم «الحدس المكاني» ليس حدساً للبناء المتري كذلك الذي يكون لحدس البناء الطوبوغرافي(*) لأن ادراكاتنا تخبرنا أن المكـان ثلاثي الأبعـاد. وإنه مستمـر، وأن لكل نقـطة نفس الخواص الطبوغـرافيـة لأي نقطة اخرى. أما بخصوص الخواص المترية للمكان، فإن حدوسنا تكون مبهمة، وغير دقيقة.

ويشار إلى السمة اللااقليدية في الإدراك الحسي«Perception» للمكان، بقدرة العقل المدهشة على تنظيم وتعديل أي نمط من الخيالات التي تظهر على شبكية العين فالشخص المصاب

(*) البناء الطبوغرافي نوع من الهندسة اللاكمية أو اللامقدارية وهي نوع من الرياضيات يعنى بدراسة موقع الشيء بالنسبة إلى الأشياء الأخرى لا بالمسافة أو الحجم (المترجم).

بالاستجميسة قوية «Astigmatism»(*) مثلاً، سوف يستقبل صوراً مشوهة بشدة على شبكية كل عين، فهو عندما ينظر إلى عصا ياردية تكون في وضع أفقي، ربما تكون الصورة الشبكية لها أطول من نفس العصا التي ينظر اليها وتكون في وضع رأسي ولكنه غافل عن هذا، لأن اطوال كل الموضوعات التي تقع في مجاله البصري تتغير بطريقة مشابهة. ولكن عندما يزود هذا الشخص لأول مرة بنظارات تصحيحية، فإن مجاله البصري سوف يبدو مشوهاً لعدة أيام أو أسابيع حتى يتمكن عقله من تعديل الصور بحيث تتلاءم مع الصور الطبيعية المنطقية على شبكية عينه. وبالمثل قد يرتدي شخص آخر، رؤيته طبيعية، نظارة خاصة تشوه الصور بطول إحداثي واحد، وبعد فترة يعتاد على الصور الجديدة. ويبدو مجاله البصري طبيعياً. ولقد وصف لنا هيلمهولتز تجارب من هذا النوع بعضها اجراها بنفسه، واستخلص منها أن المكان المرئي يمكن أن يكون له بنية لااقليـدية. واعتقد هيلمهولتز ـ وأعتقد أنه يمكن إجراء حجج قوية لهذا الاعتقاد ـ إنه إذا كان هناك طفل أو حتى بالغ تكيف بشكل كاف على تجارب تتضمن سلوك أجسام في عـالم لااقليدي، لأمكنه تصوّر بنية لااقليدية بنفس السهولة التي يتصور بها الآن البنية الاقليدية.

وحتى إذا كان اعتقاد هيلمهولتز هذا لا اساس له من الصحة، فإن هناك حجة دامغة ضد هؤلاء الذين يعترضون بأن الهندسة اللااقليدية لا يمكن تبنيها لأنه لا يمكن تصورها، وهي ان القدرة على التصور تعد موضوعاً سيكولوجياً، ومن ثم فهي لا تناسب الفيزياء مطلقاً. فقد أضحى بناء نظرية فيزيائية غير مرهون بقدرة الانسان على التصور لأن الفيزياء قد ابتعدت رويداً رويداً عما يمكن ملاحظته وتصوره بشكل مباشر، وحتى إذا كانت نظرية النسبية تبتعد كثيراً عن الحدس، وانها استبعدت أن يكون حدسنا المكاني ذا نزعة اقليدية ثابتة لا يمكن تغييرها، فإنه سيظل في إمكاننا أن نستخدم في الفيزياء البنية الهندسية التي نرغبها، أياً كانت.

في القرن التاسع عشر، وبالذات في انجلترا أكثر من أي قطر آخر في الـقارة بأسرها، كانت تبذل محاولات رائعة لتخيل وبناء نماذج للفيزياء وكان الأثير وقتها يعتبرونه نوعاً غريباً من المادة الشفافة الهلامية (كتلة عديمة الشكل أو الكثافة)، قادر على تذبذب وانتقال الموجات الاليكترومغناطيسية. ولأن الفيزياء تقدمت، أصبح هذا النموذج للأثير معقداً أكثر فأكثر، حتى أنه تطلب خواصاً اتضح انها متعذرة. فقد كان من المعتقد مثلاً أن الأثير بلا كثافة، لأنه لا يبدي أية مقاومة تذكر لحركات الكواكب والأقمار، وعلاوة على ذلك، وجد أن الموجات الضوئية

(*) الاستجميسة علة في العين، تجعل الأشعة المنبعثة من نقطة من الشيء لا تجتمع في نقطة بؤرية واحدة، وبذلك يبدو الشيء للعين على نحو غير واضح. (المترجم).

مستعرضة اكثر منها طولية وهي اكثر شبهاً بما يتوقع من الأجسام ذات الكثافة العالية جداً. وعلى الرغم من أن هذه الخواص لم تكن متعذرة منطقياً، إلا أنهم جعلوها شديدة الصعوبة فيما يتعلق بتطوير نموذج مرضٍ حدساً للأثير. وفي آخر الأمر، أصبحت نماذج الأثير المختلفة معقدة بحيث لم تعد تخدم أي غرض مفيد. وهذا هو السبب الذي حدا بآينشتين إلى التخلي كلية عن الأثير. ووجد من الأبسط له ان يتبنى المعادلات ـ معادلات ماكسويل «Maxwell» ولورنتز «Lorentz» ـ وأن يعتمد عليها بدلاً من محاولة أن يتبنى نموذجاً شاذاً لا يساعد على تخيل بنية المكان .

لم يتم التخلي عن الأثير فحسب، وإنما اتجه القرن التاسع عشر أيضاً إلى الإقلال من بناء نماذج متخيلة، وذلك لأن فيزياء القرن العشرين كانت قد تقدمت، واضحت النظريات الأحدث اكثر تجريداً، ومن ثم فقد كانت تقبل بمصطلحاتها الخاصة تمام القبول. وكانت الوظائف التي تمثل حالات النظام الفيزيائي، كالذرة مثلاً، شديدة التعقيد، بحيث لم تعد تسمح بتخيل النماذج بسهولة، غير انه يمكن بالطبع أن يستخدم معلم أو كاتب ماهر رسماً بيانياً يساعده في شرح أو توضيح نقطة ما من نظرية شديدة التعقيد، فلا بأس من استخدام مثل هذه الرسوم البيانية التوضيحية لأغراض تعليمية، اما النقطة التي أريد التأكيد عليها هي انه لا سبيل إلى الاعتراض على النظرية الفيزيائية الحديثة بأن تخيلها أكثر صعوبة من الفيزياء القديمة. فقد كان هذا هو الاعتراض الرئيسي الذي واجه نظرية النسبية عند اقتراحها لأول وهلة. ويحضرني الآن مناقشة تمت حوالي عام ١٩٣٠، في براغ مع فيزيائي ألماني حول نظرية النسبية، وكان مكتئباً إلى حد بعيد، ابتدرني قائلاً: «شيء فظيع، انظر ماذا فعل اينشتين بفيزيائنا الرائعة». ولأنني كنت متحمساً للفيزياء الحديثة، قلت «أتقول شيئاً فظيعاً». هل من الفظيع أن نصف نموذجاً معيناً من التغير عن طريق مبادىء عامة قليلة، وهل من الفظيع امكان تفسير الكثير جداً مما لم يكن مفهوماً من قبل عن طريق التبني المثير للهندسة اللااقليدية؟ ولكن كان لدى هذا الفيزيائي مقاومة انفعالية شديدة للنظريات الصعبة، لدرجة انه تخيل انه قد فقد حماسه بالكاد للفيزياء بسبب التغيرات الثورية التي أتى بها اينشتين. والأمل الوحيد الذي كان يحدوه هو أن يرى في حياته قائداً، يقود ثورة مضادة يعيد فيها الانتظام الكلاسيكي القديم. عندئذ سوف يتنفس الصعداء، ويشعر انه قد عاد آمناً مرة أخرى إلى بيته .

ولقد حدثت ثورة مماثلة في الفيزياء الذرية. وكلّنا يذكر كم كان مفرحاً ومرضياً نموذج الذرة الذي وضعه نيلزبور «Niels Bohr»، ذلك النوع من النظام الكوكبي الذي تكون فيه النواة في المركز، وتتحرك الاليكترونات حولها في مدارات. ولكن ثبت بعد سنوات قليلة أن هذا النموذج كان تبسيطاً شديداً. وأصبح الفيزيائي النووي اليوم لا يحاول حتى أن يضع نموذجاً كلياً، إذا كان

يستخدم نموذجاً على الاطلاق. فقد أدرك انها لا تعدو أن تكون صوراً لمظاهر معينة في الموقف، وتتجاهل باقي المظاهر الأخرى. فلم يعد النظام الكلي في حاجة إلى تصوير جميع اجزاء بنائه بشكل واضح. وهذا هو السبب الرئيسي في أن القضية السيكلوجية لا يمكنها أن تتخيل هندسة لااقليدية، حتى ولو كان صحيحاً (وهذا في رأيي أمر مشكوك فيه) عدم وجود اعتراض قوي لتبني نظام فيزيائي لااقليدي.

إذن ينبغي على الفيزيائي دائماً الاحتراس من أخذ نموذج متخيل (بصري)، الا إذا كان وسيلة تعليمية تربوية أو وسيلة مساعدة. كما ينبغي أن ينتبه أيضاً إلى إمكانية أن يكون النموذج المتخيل، كما يحدث ذلك أحياناً، دقيقاً إلى حد بعيد. غير أن الطبيعة تأتي دائماً بمفاجآت. فقد حدث منذ عدة سنوات، وقبل ان تقدم الفيزياء أي أفكار واضحة عن كيفية ارتباط الذرات معاً في جزئيات، انهم كانوا يشيرون إلى ذرات العنصر بحروف أبجدية كبيرة، وكانوا يرسمون خطوطاً متوازية لربط هذه الحروف بوسائل مختلفة؛ وأتذكر حديثاً لكيميائي كان يعترض بشدة على مثل هذه الأشكال الهندسية التوضيحية .

وسألته: «ولكن أليست ذات نفع كبير؟» .

أجاب: «نعم، ولكن ينبغي أن نحذر طلابنا من ألا يعتقدوا أن هذه الأشكال الهندسية تمثل الأوضاع الفراغية النسبية للذرات في جزيء بالفعل. لأننا نعرف حقيقة أي شيء على الاطلاق عن البنية الفراغية في المستوى الجزيئي. ومن ثم لا تعدو أن تكون هذه الأشكال الهندسية مجرد أشكال هندسية. مثلها في ذلك مثل المنحنى المرسوم على رسم بياني لتوضيح الزيادة في عدد السكان. أو كمّ انتاج الحديد المطاوع. ونعلم جميعاً ان هذا المنحنى مجازٌ فقط، فهو لا يمثل السكان أو الحديد المطاوع. بأي معنى حيزي. وعلينا أن نفكر في الصور الجزيئية بنفس الطريقة، لأن أحداً لا يعرف ما هو نوع البنية الفراغية الفعلية للجزيئيات .

واتفقت مع الكيميائي، ولكنني جادلته بأنه تظل هناك امكانية، على الأقل، في أن تكون الجزيئيات مرتبطة معاً بنفس الطريقة التي توضحها الرسوم الهندسية تماماً، وبصفة خاصة بعد اكتشاف الأزوميري المجسم «Steresisomer»(*) مما جعل من الملائم أن نفكر في جزيء بوصفه صورة طبق الأصل للآخر. كما انه إذا كان هناك نوع من السكر Sugar يجعل الشعاع المستقطب «Polariged Light» ينحرف باتجاه حركة عقارب الساعة،وهناك نوع آخر من السكر

(*) الأزوميري: هو الشيء المناسب التركيب ومختلف الخواص لاختلاف العناصر (المترجم).

يجعله ينحرف في الاتجاه المعاكس لحركة عقارب الساعة، إذن هناك إمكانية لرسم صورة فراغية للذرات في الجزيئات .

أجاب: «هذا صحيح. ولكننا لا نعرف بالتأكيد أن هذه هي الحالة». وكان على صواب. فقد كان القليل جداً مما هو معروف عن البنية الجزيئية في ذلك الوقت، بحيث سيكون أي تصوير لها مبتسرا. ورويداً رويداً علمنا الشيء الكثير عن هذه البنية، وستظل هناك امكانية لتمثيل الجزيئيات عن طريق نماذج ثلاثية الأبعاد يمكن تصورها «Visualizable» وكان مفهوماً أن الملاحظات الأخيرة تتطلب بناءات ذات رباعية أو خماسية، أو سداسية الأبعاد، فلم تكن الرسوم الهندسية أكثر من مجرد صور ملائمة لما كان معروفاً في ذلك الحين .

ولكن لم تلبث أن اكتشفت، وبصفة خاصة بعد تحديد ماكس ڤون ليو Max Von Laue للبناءات الكرستالية عن طريق انحراف ضوء أشعة. وتبين أن الذرات التي في تركيبات جزيئية تتخذ بالفعل المواضع الفراغية التي يبينها الرسم البياني. ولا يتردد الكيميائي اليوم في القول انه في جزيء بروتين، توجد ذرات معينة هنا، وذرات معينة هناك، وإنها تنتظم على شكل لولب «Helix». كما ان النماذج تبيـن بشكل حرفي تماماً صلات « Linkages » الذرات في مكان ثلاثي الأبعاد، ولا يوجد الدليل على دحض هذا حتى الآن. وهناك دواع قوية للاعتقاد بأن نماذج الأبعاد الثلاثية للجزيئات تمثل أشكالاً فعلية في المكان الثلاثي الأبعاد. وفي بعض الأحيان نصاب بنفس الدهشة، بل أكثر عندما تبين لنا التجارب الحديثة عدم معادلة «Parity» التفاعلات النووية الضعيفة. ويتضح الآن أن الجسيمات، والجسيمات المضادة «Antiparticles» ينظر إليها بوصفها صوراً تخيلية فقط بمعنى مجازي ويمكن أن تكون بالفعل صور تخيلية بمعنى فراغي «In A spatial sense» .

ومن ثم يظل التحذير قائماً في ألاّ نأخذ بالنماذج حرفياً، على الرغم من أنها صحيحة، وربما يثبت فيها بعد أنها غير ضرورية. إذن ينبغي للنظرية أن تبتعد عن النماذج التي يمكن تخيلها، وبعبارة أدق، عندما، نعرف أكثر، ينبغي أن نعود مرة أخرى للنماذج التي شككنا فيها من قبل. وفي حالة النماذج النووية فإن الفيزيائيين هم الذين يشككون في الغالب فقد تكون صورة الذات المنتظمة فراغياً في الجزيئات ملائمة ولذلك فإن معظم الكيميائيين يفسرون النماذج طبقاً لها حرفياً، على الرغم أن الفيزيائيين يؤكدون بأنه لا يوجد التأييد الكافي لها .

لا ينبغي الخلط بين النماذج بمعنى البناءات الفراغية البصرية «Visual spatial Structures» والنماذج بالمعنى الرياضي الحديث. إذ ان الأمر المألوف والشائع اليوم عند

الرياضيين والمنطقيين والعلماء هو الحديث عن النماذج بوصفها بناءاً تصورياً مجرداً، وليس بوصفها شيئاً مما يمكن معالجته في المعمل بالكرات والأسلاك . ينبغي لهذا النموذج أن يكون فقط معادلة رياضية أو مجموعة من المعادلات. ويصبح وصفاً مبسطاً لأية بنية فيزيائية كانت او اقتصادية أو سوسيولوجية أو غيرها، ترتبط فيها التصورات المجردة بشكل رياضي. وهي وصف مبسط لأنها تستبعد عوامل عديدة يمكن لها أن تعقد النموذج. فقد يتحدث إقتصادي مثلاً عن نموذج لاقتصاديات السوق الحر، وآخر عن الاقتصاد المخطط، وهكذا وقد يتحدث عالم النفس عن نموذج رياضي لعملية التعلم، أو عن كيفية تعلق حالة سيكولوجية بأخرى في احتمالات انتقالية «Transitional Probabilities» معينة تجعل من السلاسل وحدة واحدة، ويسميها الرياضيون بسلسلة ماركوف«Markov Chain»؛ وتختلف هذه النماذج تماماً عن نماذج فيزياء القرن التاسع عشر. إذ ان الغرض منها ليس في جعلها متخيلة وإنما في جعلها مصاغة. إن هذا النموذج فرضي خالص تدخل فيه بارامترات «Parameters» معينة، وتضبط حتى تتناسب بشكل أفضل مع المعطيات المتآخية. وعندما نجري ملاحظات أدق وأكثر، فهذا لا يترتب عليه بارامترات اكثر ضبطاً فحسب وإنما يترتب عليه أيضاً أن المعادلات الأساسية تكون في حاجة إلى التغيير. وبكلمات أخرى النموذج نفسه يتغير وهذا فادنا في النموذج القديم إلى حد ما فترة من الوقت والآن إننا في حاجة إلى النموذج الجديد .

ولـم يكـن النموذج الفيزيائي للقرن التاسع عشر بهذا المعنى المجرد، وإنما كان المقصود منه أن يكون نموذجاً فراغياً لبنية فراغية. ومن ثم يصبح نموذج سفينة أو طيارة فمثلاً لسفينة أو طيارة بالفعل. وبالطبع لا يعتقد الكيميائي بأن الجزيئات يمكن أن تؤلف قليلاً من الكرات الملونة بتجمعها معاً عن طريق الأسلاك، وإنما هناك العديد من الأشكال التي تصور هذا النموذج ولا يمكن أن تؤخذ بالمعنى الحرفي، وإنما ينبغي أن نأخذها في اشكالها الفراغية العمومية، فنلاحظها بوصفها صورة صحيحة للشكل الفراغي لذرات الجزيء الفعلي. وكما تبين لنا، هناك أسباب وجيهة أحياناً تجعلنا نأخذ هذا النموذج أو ذاك حرفياً ـ كنموذج المجموعة الشمسية مثلاً، أو نموذج الكريستال أو الجزيء، وحتى إذا لم تكن هناك أسس لمثل هذا التفسير فإن النماذج البصرية يمكن أن تفيد إلى حد بعيد. ان العقل يعمل بالحدس، وغالباً ما يكون مفيداً أن يفكر العالم بمساعدة الصور البصرية. وفي نفس الوقت ينبغي دائماً الحذر من تحديدات النموذج. لأن النموذج البصري المحكم ليس ضمانة لصحة النظرية، كما أن الافتقار إلى نموذج بصري لا يعد سبباً وجيهاً لدحض نظرية .

* * *

الفصل الثَامِن عَشر

القَبْلي التركيبي لكانط

هل يمكن للمعرفة أن تكون تركيبية وقبلية معاً؟ هـذا السؤال الشهير، سأله ايمانويل كانط «Immanuel Kant» ، وأجاب عنه بالإيجاب. ومن الأهمية بمكان أن نفهم بدقة ما كان يعنيه كانط بهذا السؤال، ولماذا يختلف في إجابته مع التجريبيين المعاصرين.

ولقد تضمن سؤال كانط تمييزين هامين: التمييز بين التحليلي «Analytic» والتركيبي «Synthetic» من جهة، وبين القبلي «A priori» والبعدي «A posteriori» من جهة أخرى. وهناك العديد من الشروح التي تناولت هذين التمييزين. وفي رأيي فإن التمييز الأول منطقي، والثاني معرفي .

ولنبدأ اولاً بالتمييز المنطقي . ان المنطق وحده هو الذي يتعلق بالبحث عما إذا كانت قضية ما صادقة أو كاذبة، وذلك على أساس المعاني المبينة في حدود القضية. إننا نعرف الحد «كلب» مثلاً، على هذا النحو: X كلب إذا وفقط اذا كان X حيواناً له خواص معينة. ولكونه حيواناً اذن فهو جزء من معنى الحد «كلب» إذا جرى على أساس هذا المفهوم تأكيد بأن «كل الكلاب حيوانات» ـ وهذا ما اطلق عليه كانط اسم حكم تحليلي «An Analytic Judgment»، فهو لم يتضمن شيئاً سوى معنى علاقات الحدود. لم يضع كانط المسألة بهذه الطريقة تماماً، ولكن هذا ما كان يعنيه بشكل أساسي .

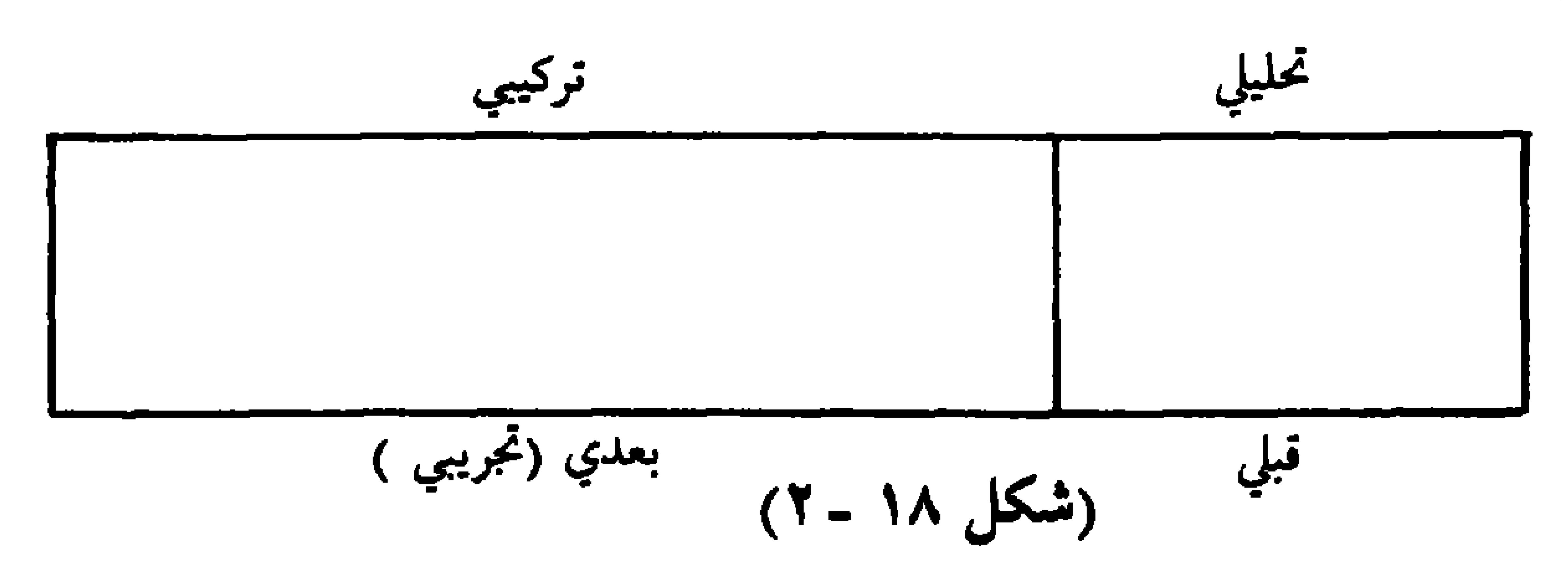
ومن ناحية أخرى، فإن قضية تركيبية مثل «يدور القمر حول الأرض» تنطوي على مضمون واقعي «A factual Content». لأنها كمعظم القضايا العلمية تركيبية لأنها تمضي وراء المعاني المحدودة للحدود، وتخبرنا بشيء ما عن طبيعة العالم .

أما التمييز بين القبلي والبعدي إنما هو تمييز معرفي (ابستمولوجي)، يميز بين نوعين من المعرفة. يقصد كانط بالقبلي نوعاً من المعرفة لاتعتمد على «Independent»، أو تستقل عن، التجربة. ولكن معنى الاستقلال هنا ليس توكيدياً «A genetic» أو سيكولوجياً. فقد كان على علم كامل بأن المعرفة الإنسانية كلها إنما تعتمد على معنى توليدي في التجربة. ومن الواضح أنه بدون تجربة لن يكون ثمة معرفة من أي نوع. ولكن هناك انواع معينة من المعرفة تكتسب من التجربة وأنواع أخرى لا تكتسب منها. خذ على سبيل المثـال القضية التحليلية «كل الكلاب حيوانات» ليس من الضروري أن نشاهد الكلاب حتى نصوغ هذا التقرير «Assertion» أو الاثبات، وليس حتى من الضروري للكلاب أن توجد. ولكن من الضروري فقط أن نكون قادرين على أن ندرك شيئاً مثل كلب، كان قد تم تعريفه بطريقة جعلت من كونه حيواناً يدخل تحت هذا التعريف ـ وكل القضايا التحليلية قبلية بهذا المعنى. أي ليس من الضروري أن نشير إلى التجربة لكي نبررها. وصحيح أننا نستنتج أن الكلاب حيوانات، من خبرتنا بالكلاب، ولكن هذا هو المعنى الواسع لكلمة خبرة أو تجربة «Experience»، والذي نقول فيه أن كل شيء نعرفه يعتمد على التجربة. النقطة التي نريد التشديد عليها هي أنه ليس من الضروري ابداً أن نشير إلى التجربة لتبرير صدق قضية تحليلية. كما اننا لسنا في حاجة إلى القـول: «أننا فحصنا أمس بعض الكلاب وبعض الكائنات التي ليست بكلاب، ثم فحصنا بعض الحيوانات وبعض الكائنات التي ليست بحيوانات، وأخيراً استنتجنا على أساس هذا الفحص أن جميع الكلاب حيوانات». بل على العكس من ذلك. ان القضية «كل الكلاب حيوانات» مبررة بذاتها، بدليل انها متضمنة في معنى لغتنا، فالحد «كلب» مفهوم له معنى، يتضمن «كونه حيواناً»، فهي مبررة بنفس الطريقة التي نبرر بها صدق القضية التحليلية «الحصان المقرن، له قرن وحيد على جبهته»، إذ ان معاني الحدود تتضمن صدق القضايا، دون الرجوع إلى أي استدلال متعلق بالعالم الخارجي .

وعلى العكس من ذلك، القضايا البعدية إنما هي تقريرات لا يمكن تبريرها دون رجوع إلى التجربة. خذ على سبيل المثال القضية التي تقرر أن «القمر يدور حول الأرض» لا يمكن تبرير صدقها بتحليل معاني الحدود «القمر» و«الأرض» و«يدور حول» بل ان المعنى الحرفي لكلمة «قبلي» يأتي من الكلمة «سابق» «Priori» كما أن المعنى الحرفي لكلمة «بعدي» يأتي من الكلمة «لاحق» «Posterior». ولكن توضيح كانط الكامل لهما لم يكن يشير إلى هذا المعنى المعاصر. فهو لم يقصد بالمعرفة البعدية، ان تجربة قد تحدث قبل أن تكون المعرفة مكتسبة، فبهذا المعنى، تكون التجربة بالطبع سابقة على كل معرفة، وإنما كان يقصد أن التجربة إنما هي علّة جوهرية

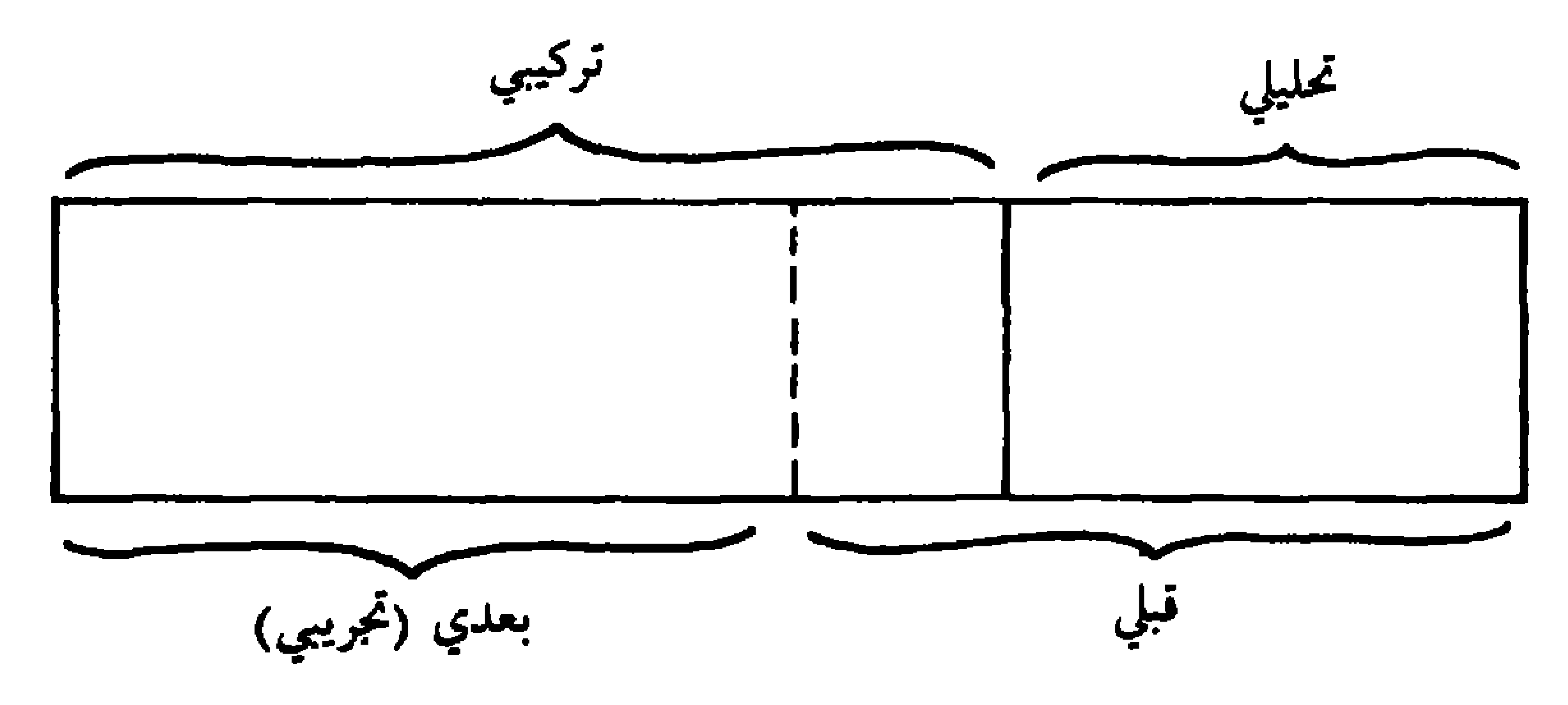
«An Essential reason» لتأيّد معرفة بَعْدية. إذ بدون تجارب خاصة معينة (وتكون هذه التجارب، في حالة دوران القمر حول الشمس، عبارة عن اجراء مشاهدات فلكية مختلفة)، يستحيل أن نبرر قضية بعدية. وبمعنى تقريبي يمكن أن تسمى المعرفة البعدية اليوم، بالمعرفة الإمبيريقية «Empeirical»، وهي تلك المعرفة التي تعتمد بشكل اساسي على التجربة «Experience». أما المعرفة القبلية فإنها لا تعتمد على التجربة.

ومن الواضح، كما ذكرنا من قبل، ان كل القضايا التحليلية قبلية. ولكن يثار الآن سؤال هام: هل يشترك خط الحد الفاصل بين القبلي والبعدي، مع خط الحد الفاصل بين التحليلي والتركيبي؟ إذا اشترك الخطان ينبغي ان يصنعا شكلاً تخطيطياً شبيهاً بما هو مبين بالشكل (١٨ - ١).



(شكل ١٨ - ٢)

ولكن ربما لا تشترك الحدود، فلا يمكن أن يقع الخط الفاصل بين القبلي والبعدي على يمين الخط بين التحليلي والتركيبي (لأن كل القضايا التحليلية، قضايا قبلية أيضاً)، ولكنها يمكن أن تقع على اليسار، كما هو مبين بالشكل (١٨ - ١).



وإذا كان الأمر كذلك، إذن هناك منطقة متوسطة يتداخل فيها التركيبي مع القبلي. وهذه هي وجهة نظر كانط، هناك منطقة «A realm» أو حيز من المعرفة تركيبية وقبلية معاً. تركيبية لأنها تخبرنا بشيء ما عن العالم، وقبلية لأنه يمكن معرفتها بيقين دون حاجة إلى تبرير التجربة.

ولكن هل توجد حقاً مثل هذه المنطقة؟ ان هذه المسألة واحدة من المسائل التي أثارت جدلاً عنيفاً في تاريخ فلسفة العلم. وكما لاحظ موريتز شليك « Moritz Schlick» بحق، انك يمكن أن تعرّف المذهبي التجريبي «Empiricism» بأنه ذلك المذهب الذي يقول بوجهة النظر التي تؤكد على أنه ليس ثمة ما هو قبلي تركيبي. هذا إذا أردت أن توجز في تعريفك أشد الإيجاز ولقد استقى كانط امثلته الرئيسية على المعرفة التركيبية القبلية من الهندسة، وكان دليله على ذلك هو، إنك إذا وضعت في الاعتبار بديهيات «Axioms» الهندسة (وكان يعني بذلك الهندسة الاقليدية، لأن أي هندسة أخرى في عصره، لم تكن قد انتشرت بعد) فإنك تعجز عن تخيل عدم صدقها. هناك مثلا مستقيم واحد، وواحد فقط، بين نقطتين (يزودنا الحدس بيقين كامل هنا) ويمكنك بالطبع أن تتخيل هذا الخط المستقيم الواصل بين النقطتين، ولكن أي خط آخر يصل بينهما لابد أن يكون منحنياً وليس مستقيماً. ومن ثم، علينا ان نمنح ثقتنا كاملة ـ كما حثنا على ذلك كانط ـ في كل بديهيات الهندسة. ولأن كل نظريات الهندسة مشتقة من البديهيات، علينا أيضاً أن نمنح ثقتنا كاملة في صدق النظريات الهندسية. أما اليقين الكامل الذي يعود إلى الهندسة، فإن سببه ان الهندسة ليست في حاجة إلى أي تبرير تجريبي. إذ ليس من الضروري أن نضع نقاطاً على صفحة من الورق ونرسم عدة خطوط لكي نبرهن على القضية التي تقرر بأنه لا يصل بين نقطتين الا خط مستقيم واحد فقط، لأنها مبررة بالحدس، وعلى الرغم من أن النظرية الهندسية قد تكون شديدة التعقيد، وغير واضحة على الاطلاق إلا أننا يمكننا البرهنة عليها تدريجياً بخطوات منطقية وصولاً إلى البديهيات المؤكدة حدساً. بالاختصار كل الهندسة قبلية.

ويواصل كانط قوله، ان نظريات الهندسة، من ناحية أخرى، تخبرنا عن شيء ما في العالم. خذ على سبيل المثال النظرية التي تقرر ان مجموع زوايا المثلث تساوي ١٨٠ درجة. بالطبع يمكن أن تشتق منطقياً من بديهيات اقليدية، ومن ثم فإن معرفة صدقها يكون قبلياً ـ ولكن من الصحيح أيضاً، اننا لو رسمنا مثلثاً وقمنا بقياس زواياه، فإن مجموع هذه الزوايا تكون ١٨٠ درجة أيضاً، وإذا لم تكن كذلك فإن الفحص الدقيق للرسم الهندسي سوف يظهر لنا أن الخطوط لم تكن مستقيمة تماماً، أو ربما كانت المقاييس غير دقيقة تماماً. إذن فالنظريات الهندسية تتعدى مجرد كونها قضايا قبلية، وإنما هي تصف أيضاً البناء الفعلي للعالم، ومن ثم فهي تعد أيضاً قضايا تركيبية. ومع ذلك من الواضح أنها ليست تركيبية بالمعنى الذي نفهمه من القوانين العلمية. إذ ان القانون العلمي لا يتم تبريره الا بالتجربة. فمن السهل ان نتخيل أن الغد قد يأتي بحادث يتعارض مع قانون علمي مفترض ومن السهل أن نفترض أن الأرض تدور حول القمر لا العكس ولا يمكن ابداً التأكيد على أن العلم سوف يتوقف عن التوصل إلى اكتشافات تتطلب

تعديلات جذرية لحقيقة افترضنا من قبل انها ثابتة ولكن الأمر ليس كذلك مع القوانين الهندسية. لأن من غير المعقول التوصل إلى اكتشافات جديدة في الهندسة تضطرنا الى تعديل نظرية فيثاغورية صحيحة «Pythagorean Theorem». فالهندسة الاقليدية يقينية حدساً، وهي مستقلّة عن التجربة. لقد كان كانط مقتنعاً، أن الهندسة تعطينا النموذج الكامل لوحدة المعرفة التركيبية والقبلية.

ولكن من وجهة النظر الحديثة يبدو أن الموقف يختلف تماماً. ولا ينبغي أن نلوم كانط على خطئه لأن الهندسة اللااقليدية في عصره لم تكن قد اكتشفت بعد ولم يكن في امكانه التفكير في هندسة بأية طريقة اخرى. والواقع أن الرياضيين أنفسهم، طوال القرن التاسع عشر كله، قد سلموا تماماً بوجهة النظر الكانطية باستثناء القليل من الأفراد الجسورين أمثال جاوس «Gauss»، وريمان «Riemann» وهيلمهولتز « Helmholtz ».

واليوم يسهل علينا أن نكتشف مصدر الخطأ الذي وقع فيه كانط. انه ببساطة الفشل في إدراك وجود نوعين أساسيين مختلفين من الهندسة ـ النوع الأول هو الهندسة الرياضية والآخر الهندسة الفيزيائية.

إن الهندسة الرياضية هي تلك الهندسة التي تنتمي إلى عالم الرياضيات البحتة، وهي بكلمات كانطية، تحليلية وقبلية، وليس في الامكان ان نقول عنها أنها ايضاً تركيبية. لأن النسق الاستنباطي ببساطة إنما يقوم على بديهيات معينة، هذه البديهيات لا تستمد يقينها من العالم الخارجي، وإنما هي صادقة في أي عالم ممكن. كما انه يمكن البرهنة على هذا النسق بطرق عديدة مختلفة، كتلك التي ذكرها برتراند راسل في كتابه المبكر «أصول الرياضيات» «The Principles of Mathematics»[1] (وهذا الكتاب لا يكتنفه الغموض، كما هو الحال في كتابه الأخير «مبادىء الرياضيات» برنكيبيا ماثماتيكا) «Pricipia Mathematica»[2]. يبين رسل كيف يمكننا أن نعرّف المكان الاقليدي على نحو كامل بوصفه نسقاً من العلاقات الأولية التي تفترض خواص بنائية معينة، فهناك مثلاً العلاقة التماثلية[3]، والعلاقة المتعدية[4]، وهناك علاقة أخرى هي العلاقة

---

(١) أنظر الباب السادس من كتاب مبادىء الرياضيات (كمبردج: كمبردج يونيفرستي برس، ١٩٥٣)، (والطبعة الثانية، بمقدمة جديدة، لندن: ألن أند أنوين، ١٩٣٨)، (ونيويورك: نورثون، ١٩٣٨).

(٢) لقد اشترك هوايتهد «Whitehead» في تأليف كتاب البرنكيبيا» مع رسل ويعد هذا الكتاب بمثابة انقلاب خطير في أبحاث المنطق والرياضيات على السواء فقد لعب دوراً هاماً في تطور المنطق الرياضي. (المترجم).

(٣) العلاقة التماثلية «Symmetrical Relation»: يقال عن علاقة ما انها تماثلية إذا كانت العلاقة التي تقوم بين أ، ب هي نفسها التي تقوم بين ب، أ، ومن أمثلة هذه العلاقة علاقة المساواة فإذا قلنا أن أ = ب فإن ب = أ. (المترجم).

(٤) العلاقة المتعدية «Transitive Relation»: وهي العلاقة التي إذا قامت بين أ، ب وبين ب، جـ فإنها تقوم أيضاً بين أ، =

اللاتماثلية[1]، وهكذا. وعلى أساس هذه الافتراضات يمكن أن نشتق منطقياً مجموعة من النظريات عن المكان الاقليدي، وهي نظريات تستوعب كل الهندسة الاقليدية. هذه الهندسة لا تخبرنا بأي شيء على الاطلاق عن العالم الخارجي. وإنما هي تقول فقط، إذا كان هناك نسق معين من العلاقات، وكان لهذا النسق خواص بنائية معينة، اذن فهذا النسق سيكون له خواص أخرى تشتق منطقياً من البناء المفترض. والهندسة الرياضية ما هي إلا نظرية للبناء المنطقي. فهي لا تعتمد على الاطلاق على الأبحاث العلمية، وإنما هي متعلقة فقط بتضمنات منطقية لمجموعة مفترضة من البديهيات .

أما الهندسة الفيزيائية، من الناحية الأخرى، فهي بتطبيق الهندسة البحتة على العالم. وهنا تكتسب مصطلحات الهندسة الاقليدية معناها المعتاد، فالنقطة يقابلها موقع فعلي في المكان الفيزيائي. ولا يمكننا بالطبع أن نشاهد نقطة هندسية، ولكن يمكننا أن نقرّبها بأن نرسم بقعة صغيرة جداً من الحبر على صفحة من الورق، وبالمثل، يمكننا أن نشاهد وأن نرسم، على وجه التقريب، خطوطاً وسطوحاً مستوية، ومكعبات. . . الخ وهذه الكلمات إنما تشير إلى بناءات فعلية في المكان الفيزيائي الذي اعتدنا عليه، وهي أيضاً جزء من اللغة البحتة أو الهندسة الرياضية، وهنا مكمن الخلط الذي وقع فيه رياضيو القرن التاسع عشر، فيما يتعلق بالهندسة. لأن نفس الكلمات يستخدمها العالم، والرياضي البحت. وكان من الخطأ افتراض أن كلا منهما يستخدم نفس النوع من الهندسة .

والآن أصبح التمييز بين الهندستين واضحاً، وبصفة خاصة من خلال العمل الشهير الذي قدمه دافيد هلبرت «David Hilbert» والمسمى «أسس الهندسة»[2] «Foundations of Geometry» كتب هيلبرت يقول: «اننا نعتقد هنا في ثلاثة أنساق متميزة من العناصر ولسوف نطلق على عناصر النسق الأول اسم النقاط «Points»، وعلى عناصر النسق الثاني اسم الخطوط «Lines»، وعلى عناصر النسق الثالث اسم الأسطح «Planes»، وعلى الرغم من أنه أطلق على

= جـ، ومن أمثلة هذه العلاقة علاقة قبل وبعد، وأكبر وأصغر. . الخ، مثل أ أكبر من ب وب أكبر من جـ اذن أ أكبر من جـ. (المترجم).

(١) العلاقة اللاتماثلية «Asymmetrical»: هي العلاقة التي إذا قامت بين أ، ب لا تقوم بين ب، أ، ومن أمثلتها علاقة أكبر من، فإذا قلنا أن أ أكبر من ب فلا يمكن أن تقول أن ب أكبر من أ. (المترجم).

(٢) ظهر كتاب أسس الهندسة «لهيلبرت أول مرة في ألمانيا عام ١٨٩٩. ونقله الى الانجليزية تونسند «E.J. Tounosend» وقامت دور نشر أوبن كورت Opencourt في شيكاغو بنشره عام ١٩٢٠، ومنذ ذلك الحين ذاع صيته بوصفه أحد المراجع الرئيسية.

هذه الكتابات أسماء «نقاط» و«خطوط» و«أسطح» الا انه لم يذكر أي شيء عما تعنيه مثل هذه الكلمات. ولكن كان استخدام هذه الكلمات ملائماً فقط لأنها كانت مألوفة، ومن ثم فقد ساعدت القارىء على تكوين صورة ذهنية عن تفسير يمكن أن ينطبق على هذه الحدود. ولأن النسق الهندسي الذي اقترحه هيلبرت، كان يخلو تماماً من أي تفسير، فمن الممكن أن تؤخذ «النقاط» و«الخطوط» و«الأسطح» بوصفها فئات ثلاث وظيفتها تحقيق العلاقات المقررة في البديهيات. فعلى سبيل المثال، بدلاً من النقاط والخطوط والأسطح الفيزيائية يمكن للمرء أن يفسر «النقطة» بوصفها مضاعفة ثلاثية متوالية «An Ordered Triple» لأعداد حقيقية. وحينئذ يكون «الخط» عبارة عن فئة «A Class» لمضاعفات ثلاثية متوالية لأعداد حقيقية تحقق معادلتين من الدرجة الأولى، أما السطح فهو فئة لمضاعفات ثلاثية تحقق معادلة واحدة من الدرجة الأولى. ولأن الحدود في الهندسة البحتة أو الرياضية لا تستخدم بالمعنى العادي، مثلها في ذلك مثل «النقاط» و«الخطوط» و«الأسطح»، إذن يمكن أن نضع لها تفسيرات ممكنة لا نهاية لها.

وأعتقد أن فهمنا لهذا التمييز الذي يقوم بين الهندسة البحتة والفيزيائية يوضح لنا سبب الاضطراب الذي وقع فيه كانط ومعظم فلاسفة القرن التاسع عشر. انهم ببساطة وحدوا بين مجالين مختلفين تماماً في سماتهما. لأننا عندما نفكر في الهندسة الرياضية فإننا نقرر أنها «هندسة قبلية بالتأكيد، ولا يمكن الشك في صدق نظرياتها على الاطلاق» ولكن افترض أننا اضفنا «وهي أيضاً تخبرنا بشيء ما عن العالم الخارجي. ويمكننا عن طريقها أن نتنبأ بحاصل المقاييس التي تجريها على البناءات الهندسية الفعلية». فإننا نكون بذلك قد انزلقنا دون أن ندري إلى المعنى الآخر للهندسة، أي نكون قد تحدثنا عن الهندسة الفيزيائية، عن البنية الفعلية للمكان. صحيح أن الهندسة الرياضية قبلية، وأن الهندسة الفيزيـائية تركيبية، ولكن ليس ثمة هندسة أخرى تجمع بينهما. وإذا أردنا حقاً أن نقبل المذهب التجريبي «Empiricism» فلا مجال لمعرفة من أي نوع تجمع بين ما هو قبلي وما هو تركيبي.

وفيما يتعلق بالمعرفة في الهندسة، فإن التمييز بين نوعي الهندسة يعد شيئاً أساسياً، ومعروفاً الآن على نطاق العالم كله. أما عندما تثير مسألة تتعلق بطبيعة المعرفة الهندسية، كأن تسأل مثلاً: «أي نوع من الهندسة تفكر به؟ هل تتحدث عن هندسة رياضية أم فيزيائية؟» فإن التمييز الواضح هنا يكون ضرورياً لكي نتجنب الاضطراب، ولكي نستوعب الاسهامات الثورية التقدمية التي أتت بها نظرية النسبية.

ولقد تمكن اينشتين من تقديم أوضح تمييز لهاتين الهندستين، وفي عبارات شـديدة الاحكام، وذلك في ختـام محاضرة لـه بعنـوان «الهنـدسة والتجـربـة» «Geometry And

«Experience»[1]. لقد كان اينشتين يتحدث عن الرياضيات، ولكنه كان يعني بذلك الهندسة، وبالطريقتين اللتين يمكن فهمها. قال: «ان النظريات الرياضية التي تتحدث عن الواقع، غير يقينية». وطبقاً للمصطلح الكانطي يعني هذا انها حتى الآن تركيبية، وليست قبلية. ويستمر في قوله «ولأنها لا تتحدث عن الواقع، فهي يقينية. وطبقاً للمصطلح الكانطي أيضاً يعني هذا انها حتى الآن قبلية وليست تركيبية.

ولقد قرر كانط أن المعرفة القبلية، يقينية، ولا يمكن أن تكون متناقضة مع التجربة. أما نظرية النسبية فقد أوضحت لكل ذي فهم اننا لو أخذنا الهندسة بهذا المعنى القبلي، فهي لا تخبرنا بشيء عن الواقع «Reality». لأنه ليس ثمة قضية ممكنة تقترن باليقين المنطقي عن معرفة البنية الهندسية للعالم.

* * *

---

(١) نشرت محاضرة اينشتين منفصلة تحت عنوان «Geometrie und Erfahrung» (برلين عام ١٩٢١) وترجمت أخيراً الى الانجليزية مع شروح قام بها البرت اينشتين لنظرية النسبية (نيويورك: داتون «Dutton»، ١٩٢٣).

القسم الرابع: السَّببيَّة وَالحَتميَّة

الفصل التَاسِع عَشر

السببية

يعد مفهوم السببية، واحداً من الموضوعات الرئيسية في فلسفة العلم في عصرنا الراهن، وقد شغل اهتمام مشاهير الفلاسفة منذ عصر اليونان القديم وحتى العصر الحاضر. ففي العصور السالفة كان محوراً لما يسمى بفلسفة الطبيعة، ذلك الحقل الذي اشتمل على كل من البحث الطبيعي التجريبي من ناحية والتفسير أو الاستيضاح الفلسفي للمعرفة من ناحية أخرى. أما اليوم فلقد أصبح جلياً أن البحث الطبيعي هو مهمة العالم التجريبي وليس مهمة الفيلسوف.

بيد أن الفيلسوف يمكنه بالطبع أن يكون فيلسوفاً وعالماً. فإذا كان الأمر كذلك، كان لزاماً عليه أن يتوخى الحذر من الاختلاف الأساسي الذي يقع بين نوعي الأسئلة التي ينبغي عليه أن يطرحها. فإذا طرح أسئلة من نوع، «كيف تشكلت فوهات براكين القمر؟» أو «هل ثمة جماعة تألفت من اللامادة؟ فهو بذلك إنما يضع أسئلة علماء الفلك والفيزيائيين. أما إذا وجه أسئلته المباشرة، ليس تجاه عالم الطبيعة، وإنما تجاه تحليل المفاهيم (التصورات) الأساسية للعلوم، فهو بذلك إنما يضع اسئلة في فلسفة العلوم.

ولقد كان الاعتقاد السائد عند فلاسفة العصور القديمة، أن ميدان المعرفة الحقيقي يكمن «فيما وراء الطبيعة» وأن هذا الميدان أعمق وأكثر أهمية من أي علوم تجريبية، وكانت مهمة الفلاسفة في ذلك الحين، تنحصر في تفسير الحقائق الميتافيزيقية. أما اليوم فإن فلاسفة العلوم لا يعتقدون في وجود مثل هذه الميتافيزيقا. فقد استبدلت فلسفة العلوم بفلسفة الطبيعة القديمة، وأصبحت هذه الفلسفة الحديثة لا تولي اهتماماً باكتشاف الحقائق والقوانين (فهي مهمة العلماء التجريبيين)، ولا بصياغة مفاهيم ميتافيزيقية عن العالم. وإنما بدلاً من ذلك، تولي اهتمامها فقط

بالعلوم ذاتها، تدرس مفاهيمها المستخدمة، وطرق البحث فيها، والنتائج الممكنة، وصور القضايا، والنماذج المنطقية التي تنطبق عليها. وبكلمات أخرى، تولي اهتمامها إلى مثل هذا النوع من المشكلات التي نناقشها في هذا الكتاب. فقد أضحى فيلسوف العلم يدرس الأسس المنطقية والبحثية لعلم النفس ولا يدرس «طبيعة العقل». ويدرس الأسس الفلسفية للانثروبولوجيا ولا يدرس «طبيعة الثقافة» إذن فهناك اهتمام أولي، في كل ميدان من ميادين العلم، بمفاهيم وطرق بحث هذا الميدان.

ولقد حذر بعض الفلاسفة من وضع حد فاصل متميز، بين عمل العلماء في هذا المجال المعين، وعمل فلاسفة العلوم الذي يولون اهتماماً بهذا المجال. ولهذا التحذير وجاهته. فعلى الرغم من أن عمل العالم التجريبي وعمل فيلسوف العلوم كلاهما متميز عن الآخر دائماً، إلا أن المجالين عادة ما يمتزجان عملياً، فكثيراً ما يفترض العالم مسائل متعلقة بطرق البحث، مثل أي نوع من المفاهيم ينبغي عليه أن يستخدم؟ وما هي القواعد التي تحكم مثل هذه المفاهيم؟ وبأي الطرق المنطقية يمكنه أن يعرف هذه المفاهيم؟ وكيف يمكنه أن يضع مفاهيمه معاً في قضايا، وأن يضع القضايا في نسق منطقي محكم؟ أو في نظرية؟ كل هذه المسائل ينبغي أن يتعرض لها بوصفه فيلسوف علوم. ومن الجلي ان مثل هذه الأسئلة لا يمكن الإجابة عنها باجراءات تجريبية. ومن ناحية أخرى، يستحيل انجاز عمل هام في فلسفة العلوم دون معرفة الكثير عن النتائج التجريبية للعلوم. ففي هذا الكتاب على سبيل المثال، وجدت أنه من الضروري التحدث باستفاضة عن بعض الملامح الخاصة لنظرية النسبية. ولم أناقش التفصيلات الأخرى في النظرية، لأنها كانت معنية مبدئياً بتوضيح الفرق الهام بين الهندسة التجريبية والهندسية الرياضية أو البحتة. وإذا لم يكن لدى طالب فلسفة العلوم فهم للعلم، فلن يستطيع حتى أن يطرح مسائل هامة عن تصوراتها أو طرق بحثها.

ومن الأسباب الهامة التي حدت بي الى التمييز بين مهمة فيلسوف العلوم، ومهمة الميتافيزيقى الذي هو فيلسوف الطبيعة السابق له، هو ان التمييز هام جداً لتحليل السببية، موضوع هذا الفصل. فلقد كان الفلاسفة القدامى يهتمون بالطبيعة الميتافيزيقية للسببية ذاتها. أما نحن، فاهتمامنا هنا ينصب على دراسة كيفية استخدام العلماء التجريبيين لمفهوم السببية، وحتى نكون أكثر وضوحاً، فما الذي كانوا يعنونه عندما يقولون أن هذا سبب لذلك، وبالتحديد، ماذا تعني علاقة السبب بالمسبب؟ وبالتأكيد في الحياة اليومية، التصور غامض ومبهم. وحتى في العلوم، غالباً لا يكون واضحاً ما يعنيه العالم عندما يقول أن حدثاً ما قد «سبب» آخر. ان واحدة من أهم مهمات فيلسوف العلم، هي أن يحلل مفهوم السببية ويوضح معناه.

والحقيقة أن الأصل التاريخي للتصور يكتنفه الغموض إلى حد ما، فمن الواضح انه نشأ كنوع من اسقاط التجربة الإنسانية على عالم الطبيعة. فعندما تدفع منضدة، تشعر بتوتر في العضلات. وعندما يلاحظ شيء ما مشابه لهذا في الطبيعة، مثل كرة بلياردو تصطدم بأخرى فمن السهل أن نتخيل أن هذه الكرة قد أعطتنا (منحتنا) تجربة شبيهة بتجربتنا عن اندفاع المنضدة. إذن اصطدام الكرة هو الفاعل. انها تفعل شيئاً ما للكرة الأخرى فتجعلها تتحرك. ومن السهل أن نرى كيف أمكن لانسان الثقافات البدائية أن يفترض وجود عناصر حية في الطبيعة، تشبهه تماماً، هذه العناصر الحية هي التي أرادت لأشياء معينة أن تحدث. وهذا ما أمكنه فهمه على وجه الخصوص من الظواهر الطبيعية التي تسبب اذى شديداً. فالجبل يمكن له أن يلام على تسببه لانهيار أرضي، أو الزوبعة على تسببها في ضرر قرية.

وفي ايامنا هذه فإن الانسان المتحضر، وبالتأكيد العلماء، لا يأخذون بهذا التشبيه الانساني الذي يقترب من الطبيعة، ومع ذلك تميل عناصر التفكير الروحاني إلى الإصرار على الأخذ به. افترض أن حجراً حطم نافذة. هل مال الحجر إلى فعل هذا؟ بالطبع لا. سيقول العالم الحجر هو الحجر، انه يخلو من روح قادرة على التمييز. وعلى الجانب الآخر، فإن معظم الناس، وحتى العالم نفسه، لن يترددوا في القول ان الحادث «ب» الذي هو تحطيم النافذة، سببه الحادث «أ» الذي هو اصطدام الحجر بالزجاج. ما الذي يعنيه العالم عندما يقول ان الحادث «ب» سببه الحادث «أ»؟ ومن الممكن أن يقول إن الحادث «أ» سعى إلى اتمام الحادث «ب» أو «نتج عنه» الحادث «ب». وهكذا، يمكنك أن ترى أنه عندما يحاول أن يشرح معنى «السبب»، يقع في مثل هذه العبارات «يسعى إلى إتمام»، «يولده» «يخلق»، «ينتج عنه». ولقد استعرنا مثل هذه العبارات الميتافيزيقية، من النشاط الانساني، ذلك النشاط الذي يمكنه ـ بالمعنى الحرفي ـ أن يولد ويخلق، وينتج الحوادث الأخرى المختلفة، ولكن في حالة الحجر، يستحيل أن يؤخذ بهذا حرفياً. ومن ثم تصبح الاجابة عن السؤال «ما معنى القول ان حدثاً سبب آخر؟» غير مرضية على الاطلاق.

إذن بات من الضروري ان نحلل هذا التصور الغامض للسببية، حتى نخلصه من كل ما علق به من عناصر غير علمية قديمة. ولكن يجدر بي أولاً أن أوضح نقطة هامة، هي انني لا اعتقد أن هناك أي سبب لرفض تصور السببية. فقد اعتقد بعض الفلاسفة ان ديفيد هيوم، في انتقاده الشهير للسببية عني برفض التصور كلية. وأعتقد أن هذا لم يكن مقصد هيوم، فهو لم يعن برفض التصور، وإنما فقط بتنقيته. وسوف تكون هذه المسألة محل اعتبار فيما بعد، ولكنني أودُّ الآن أن أقرر أن ما رفضه هيوم هو عنصر الضرورة في تصور السببية، وكان تحليله ذاك سائراً في الاتجاه السليم، على الرغم من أنه، في رأي فلاسفة العلوم اليوم، لم يمض أبعد من ذلك، كما

انه لم يكن واضحاً بشكل كافٍ. وفي رأيي ليس من الضروري أن ننظر إلى السببية بوصفها تصوراً قبل علمي «Pre - Scientific Concept» ميتافيزيقي بشكل يحط من قدره، وبناء على ذلك نستبعده. ولكن بعد أن حلل هذا التصور، وأشبع شرحاً، وجد أن هنالك شيئاً ما عالقاً به، يمكن أن نطلق عليه اسم السببية، وهذا الشيء يبرر استخدامه لعدة قرون، سواء بالنسبة للعلماء، أو في الحياة اليومية.

ولسوف نبدأ الآن تحليله بسؤال: ما هي أنواع الموجودات التي تنعقد بينها علاقة سببية؟ والكلام الدقيق هو، أنه ليس الشيء الذي يسبب حدثاً، وإنما هو عملية «A process». اننا في الحياة اليومية نتحدث عن أشياء معينة تسبب حوادث، ولكن ما نعنيه حقيقة، هو أن عمليات أو حوادث معينة تسبب عمليات أو حوادث أخرى. فعندما نقول أن الشمس سبب نمو النباتات، فإن ما نعنيه حقيقة هو الاشعاع الذي يصدر عن الشمس. إذن السبب في الحقيقة هو عملية. ولكن إذا جعلنا «العمليات» أو «الحوادث» موجودات تشتمل على علاقات سبب ومسبب، لوجب علينا أن نعرّف هذه الحدود بمعنى واسع جداً. وينبغي أن نضمنها ـ وهذا ما لا نفعله في الحياة اليومية ـ عمليات ثابتة.

خُذ مثلاً منضدة؛ إنني لا ألحظ أيّ شيء عن تغيرها، ربما تحركت بالأمس، وربما تتلف أو تتحطم في المستقبل، ولكن في هذه اللحظة لا ألحظ أي تغيير. ويمكن افتراض أن درجة حرارتها، وكتلتها، وحتى تأثير الضوء على سطحها، وهكذا، يبقى بلا تغيير للحظة معينة. هذا الحادث أيضاً ـ وجود منضدة بلا تغيير ـ عملية. وهو عملية ثابتة. أحدها ان الأحجام المناسبة تبقى مستمرة في الزمن. وإذا ما تحدثنا عن العمليات أو الحوادث باعتبارها تتضمن علاقة سبب ومسبب، لوجب التعرف على ذلك على أساس أن هذه الحدود تشتمل على عمليات ثابتة، تدوم عند أي تتابع للحالات في النظام الفيزيائي سواء تغيرت أو لم تتغير.

وهناك حالات غالباً ما يقال عنها انها ظروف أو شروط، وهي في الحقيقة أسباب ومسببات بيد أن هذه طريقة مسموحاً بها في الحديث، لأنه ليس ثمة خطر هنا على الحدود التي تؤخذ بمعنى ضيق، لأن الشرط الساكن أو الثابت هو أيضاً شرط. افترض اننا نبحث حالة تصادم بين سيارتين على طريق مرتفع. لا ينبغي أن ندرس فقط الحالات المتغيرة ـ كيف تحركت السيارتان، سلوك سائقيها، وهكذا، ولكن أيضاً الحالات الثابتة، لحظة الاصطدام. وينبغي أن نبحث الحالة التي كان عليها سطح الطريق. هل كان مبللاً أم جافاً؟ وهل كانت أشعة الشمس ضاربة في وجه احد السائقين؟ يمكن أيضاً لاسئلة من هذا النوع أن تكون هامة في تحديد أسباب

الاصطدام. لكي نحلل الأسباب تحـليلاً كاملاً، ينبغي علينا أن نبحث كل الظروف المواتية، الثابت منها والمتغير، فالحالات المتعددة الاختلاف هامة جداً لتنظيم النتيجة النهائية.

وعندما يتوفى احد الناس، يقرر الطبيب سبب الوفاة. قد يكتب «تدرن رئوي» كما لو كان شيء واحد فقط هو الذي سبب وفاته. وفي الحياة اليومية، غالباً ما نطلب سبباً واحداً لحادث - سبب الوفاة أي سبب التصادم. ولكن عندما نفحص الحالة بعناية أكثر، نرى أن هناك العديد من الإجابات التي يمكن أن تجاب عليها، معتمدة على وجهة النظر التي نشأ عنها السؤال. فمهندس الطرق يقول: «حسناً، لقد قلت مراراً وتكراراً أن سطح هذا الطريق وعر للاستخدام بالنسبة لطريق مرتفع، وعندما يتبلل يحدث تزحلق شديد. والآن هاكم حادث آخر يثبت كلامي «طبقاً لقول هذا المهندس كان سبب الحادث، الطريق المرتفع المسبب للتزحلق. اهتم بالحادث من وجهة نظره، واعتبره السبب الوحيد. وفي هذا الخصوص هو على حق. فلو أخذوا بنصيحته، واستبدلوا سـطح الطريق بسطح آخر، لما حدث التزحلق. وأشياء أخرى على نفس المنوال كانت تساهم في عدم وقوع الحادث. ومن الصعب أن نتأكد من أي حالة خاصة، ولكن قد تكون هناك امكانية في أن يكون المهندس على حق. فهو عندما أصر على أن «هذا هو السبب» كان يعني: أن هذه الحالة هامة لمثل هذا النوع، وذلك أنه لو لم تكن هذه الحالة موجودة لما حدث هذا الحادث.

وعندما يسأل أناس آخرون عن سبب الحادث، ربما يشيرون إلى حالات أخرى. فشرطي المرور المنوط بدراسة أسباب حوادث المرور، يريد أن يعرف إذا ما خالف أحد السائقين أياً من قواعد المرور. لأن عمله هو الإشراف على مثل هذه النشاطات، وإذا وجد أن هذه القواعد قد خولفت، لفضل اعتبار هذه المخالفة هي سبب التصادم. ويمكن أن يقرر عالم النفس الذي يقابل أحد السائقين، إن السائق كان في حالة انفعال، وكان انفعاله هذا متعلقاً بمتاعبه، فلم يركز انتباهه باقتراب السيارة الأخرى عند التقاطع. ومن ثم قد يقرر عالم النفس أن حالة الاضطراب العقلي للرجل هي سبب التصادم. انه ينتقي العامل الأكثر تعلقاً به من الموقف الكلي ويجعله المثير والسبب الحاسم. وربما يكون أيضاً على حق، لأنه لو لم يكن الرجل في حالة قلق، لما تم أو حتى ليس من المحتمل أن يتم الحادث. وربما يجد المهندس المختص ببنية السيارة سبباً آخر، مثل وجود خلل في بنية واحدة من السيارتين. كما يمكن للميكانيكي أن يشير إلى تلفيات في مشتملات الفرامل. ينظر كل شخص إلى الصورة العامة من وجهة نظره وسيجد حالة معينة يقول على أساسها: لو لم توجد هذه الحالة، لما وقع هذا الحادث.

ومع هذا، لم يجب أي من هؤلاء الرجال، على السؤال العالم التالي: ماذا كان سبب الحادث؟ انهم أمدونا فقط بسلاسل من إجابات جزئية، مشيرين إلى حالات اشتركت في النتيجة النهائية. ليس هناك سبب وحيد يمكن أن يكون بمفرده السبب. ومن الواضح حقاً أنه لا يوجد مثل هذا الشيء كسبب. هناك مركبات عديدة مناسبة في موقف معقد، كل منها اشترك في الحادث بمعنى إذا غاب عنصر منها لما تم التصادم. إذا وجدت علاقة سببية بين الحادث وحادث سابق، لابد أن يكون الحادث السابق اذن هو كل الموقف السابق. وعندما يقال الموقف الأسبق «سبب» الحادث، فإن ما يعنيه ذلك، هو الموقف المعطى السابق، بكل تفصيلاته الدقيقة، وكل القوانين المناسبة التي يمكن أن تجعل الحدث متنبأ به. لا يعرف أحد ولا يمكنه أن يعرف بالفعل، كل الحقائق والقوانين المناسبة. ولكن لو عرف شخص ما، لأمكنه أن يتنبأ بالتصادم. إذن لا يشتمل الموقف فقط على القوانين المناسبة للفيزياء والتكنولوجيا (المتعلقة بالاحتكاك على الطرق، وحركة السيارات، والعمليات المتعلقة بالفرامل وهكذا) وإنما تشتمل أيضاً على القوانين الفيزيولوجية والسيكلوجية. يجب إذن أن تكون المعرفة بكل هذه القوانين تماماً كالمعرفة بالحقائق الفردية المناسبة، مفترضة قبل أن يقال من الممكن التنبؤ بالنتيجة.

ويمكننا أن نلخص نتيجة هذا التحليل بأن: العلاقة السببية تعني القدرة على التنبؤ أو امكانية التنبؤ «Predictability». ولا يعني هذا القدرة الفعلية على التنبؤ، لأنه ليس ثمة من هو محيط بجميع الوقائع والقوانين المناسبة، ولكنها تعني القدرة على التنبؤ بهذا المعنى: إذا كان الموقف السابق معروفاً، إذن لأمكن التنبؤ بالحادث. ولهذا السبب، فإنني عندما استخدم الحد «القدرة على التبنؤ» إنما أعني بذلك معنى ميتافيزيقيا إلى حد ما.

ولا يتضمن ذلك امكانية التنبؤ الفعلي بحادث ما، ولكن على الأصح، بامكانية التنبؤ الجزئي. إن معرفة كل الوقائع المناسبة وكل القوانين المناسبة للطبيعة، يمكّن من التنبؤ بالحادث قبل وقوعه. وهذا التنبؤ إنما هو نتيجة منطقية «A Logical Consequene» للوقائع والقوانين. وبكلمات اخرى، هناك علاقة منطقية تبين الوصف الكامل للحالة السابقة ـ القوانين المناسبة ـ وبين التنبؤ بالحادث.

وكمبدأ يمكن أن تعرف الوقائع المفردة المناسبة في الحالة السابقة (إننا نجهل هنا الصعوبة العملية للحصول على كل الوقائع، تماماً مثل التحديدات المفروضة مبدئياً على نظرية الكم فيما يتعلق بمعرفة كل الوقائع دون المستوى الذري). وفيما يختص بمعرفة القوانين المناسبة تنشأ مشكلة أكبر بكثير. إننا عندما نعرّف العلاقة السببية بقولنا إن حادثاً يستدل عليه من مجموعة وقائع

وقوانين، فما الذي نعنيه بالقوانين؟ قد يغرينا القول ان: هذا يعني تلك القوانين التي نجدها في الكتب المدرسية للعلوم المختلفة المتعلقة بهذا الموقف، وأكثر تحديداً، انها كل القوانين المناسبة المعروفة في زمن الحادث. وبلغة صورية، الحادث م في الزمن ن مسبب بالحادث السابق ق، إذا، وفقط إذا استدل م من ق بمساعدة القوانين ل ن في الزمن ن .

ومن السهل أن نتبين أن هذا التعريف غير مفيد كثيراً في العلاقة السببية. خذ المثال العكسي التالي: هناك رواية تاريخية عن الحادث ن الذي حدث في العصور القديمة متبوعاً بالحادث أ. ولم يتمكن الناس الذين عاشوا في العصر ن١ من تفسير ب، والآن يمكن تفسير ب عن طريق معرفة قوانين معينة ل وذلك عن طريق بيان أن ب تستتبع منطقياً من أ ول . ولكن لم تكن القوانين ل معروفة في العصر ن١، لهذا لا يمكن تفسير الحادث ب باعتبار نتيجة للحادث أ. افترض، كفرض علمي تماماً، أن عالماً أكد لنا أنه في الزمن ن١، كان الحادث ب مسبباً من الحادث أ. يمكن أن يقال عن فرضه هذا أنه صحيح، على الرغم من أن العالم لم يتمكن من إثباته، لأنه لم يكن قادراً على اثباته. ولأن القوانين التي كانت معروفة له ل ن١، لم تشتمل على القوانين ل التي تعتبر ضرورية للبرهان. ومهما كان، لو أن تعريف العلاقة السببية المقترح في الفقرة السابقة قد حاز القبول، فمن الضروري أن نقول أن تقرير العالم كاذب. وذلك لأنه لم يستطع أن يستدل ب من أ و ل ن١ . وبكلمات أخرى، يجب أن يكون تعريفه كاذباً، حتى لو كان معروفاً في هذه الأيام بأنه صادق .

وعندما نفكر في حقيقة أن معرفة القوانين العلمية اليوم، بعيدة تماماً عن الاكتمال، يتضح قصور التعريف المقترح. لأن علماء اليوم يعرفون أكثر من علماء أي فترة سابقة، وبالتأكيد يعرفون أقل مما سيعرفه العلماء (على افتراض أن المدنية لن يصيبها التدمير) بعد مائة عام من الآن. إذن لا يمكن للعلم أن يحوز في أي زمن على معرفة كاملة بكل القوانين الطبيعية. وكما تبين من قبل، ومهما كان الأمر، هناك نظم كاملة للقوانين، أبعد من القوانين المعروفة في زمن معين، يجب أن يستدل عليها، لكي نحصل على تعريف مناسب للسببية .

ومرة أخرى، ما معنى القول بأن الحادث ب كان مسبباً من الحادث أ؟ يعني هذا أن هنالك قوانين معينة في الطبيعة استدللنا منها منطقياً على الحادث ن، وذلك عندما اشتملت هذه القوانين على وصف كامل للحادث أ. وسواء أكانت القوانين ل مفصلة أم لا فهي غير ملائمة، وبالطبع تصبح ملائمة لو أكد برهان ما على أنها صادقة. ولكنها غير ملائمة لأنها لم تحقق معنى التقرير. وهذا ما يجعل تحليل السببية بمثل هذه الصعوبة، اختباراً مزعزعاً، لأنه عندما يشار إلى علاقة

سببية، فهناك دائماً دليل قوي «Implicit Reference» بأن ثمة قوانين طبيعية غير متعينة، وقد تكون دقيقة جداً، ولكنها بعيدة عن تيار الاستخدام. فإذا قرر شخص ما أن أ كانت سبباً لـ ب، فلا بد أنه كان قادراً على التقرير بأن كل القوانين إنما تشتمل على ذلك التقرير وفي كل زمن. فإذا أمكنه أن يذكر جميع القوانين الملائمة، لبرهن بالطبع على تقريره هذا، ولكن مع ذلك يظل هذا البرهان ناقصاً إلا إذا قبلنا أن ما قرره كان ذا معنى.

افترض أن هناك من راهن على أنها ستمطر اعتباراً من اليوم ولمدة أربعة أسابيع. لن يعرف أحد ما إذا كان هذا التنبؤ صحيحاً أم خاطئاً. ومن ثم علينا أن ننتظر أربعة أسابيع قبل أن تقرر المسألة. ولكن مع ذلك فإن هذا التنبؤ ذو دلالة واضحة. والتجريبيون على حق بالطبع عندما يقولون أن لا معنى لتقرير ما دون وجوده على الأقل كمبدأ، أي دون امكانية تقريره أو عدم تقريره بشكل واضح. ولا يعني هذا أن التقرير يكون ذا دلالة، إذا، وفقط إذا أمكن تقريره اليوم بوصفه تقريراً صادقاً. لأن التنبؤ بالمطر يكون ذا دلالة حتى لو لم نتحقق الآن من صدقه أو كذبه. كما أن التقرير بأن أ سبب ب، ذو دلالة، على الرغم من أن المتحدث قد لا يكون قادراً على تعيين القوانين اللازمة لإثباته. ويعني هذا أنه لو كانت كل الوقائع الملائمة المحيطة بـ أ معروفة مع كل القوانين الملائمة، لأمكن حينئذ حدوث ب المتنبأ بها.

ويثير هذا مسألة صعبة. هل يتضمن هذا التعريف لعلاقة السبب بالمسبب، أن المسبب يستتبع بالضرورة من السبب؟ لم يذكر هذا التعريف أي شيء عن الضرورة. انه يقرر فقط ان الحادث ب يمكن التنبؤ به لو عرفت كل الوقائع والقوانين الملائمة. وربما يكون هذا فرضاً جدلياً، جدلياً، لأن الميتافيزيقي الذي يرغب في ادخال عنصر الضرورة في تعريف السببية قد يجادلنا بقوله: «صحيح أن كلمة «ضرورة» لم تستخدم، إنما القوانين تتحدث عن، وهي تقريرات للضرورة. ولهذا فالضرورة تتدخل مع ذلك، وهي مركب لازم لأي تقرير على علاقة سببية».

وفي الفصل التالي، سنضع في اعتبارنا ما يمكن أن يقال في الرد على هذا الزعم.

* * *

الفصل العشرون

هَل تتضمّن السببية الضرورة؟

هل تتضمن القوانين الضرورة؟ يصوغ التجريبيون أحياناً موقفهم على النحو التالي: إن القانون ما هو إلا مجرد عبارة أو قضية «Statement» شرطية كلية، وهو كلي لأنه يصاغ بهذه الطريقة العامة: «في أي زمان، وأي مكان، إذا كان هناك جسم أو نظام فيزيائي في حالة معينة، حينئذٍ فإن حالة أخرى معينة سوف تتبعه». وتختص صورة هذه القضية العامة إذا ـ حينئذ بالزمان والمكان. ويطلق أحياناً على هـذه الاطروحـة «الشرطانيـة» أو «المذهب الشرطي» «Conditionalism» وطبقاً لهذا المذهب يقرر القانون السببي ببساطة انه عندما يحدث حادث من النوع ن (و ن ليست حادثاً فردياً، وإنما هي فئة من حوادث) إذن فإن الحادث من النوع هـ سوف يتبعه. والصورة الرمزية له:

(١) (و) (ق و ⊂ ك و) .

وتقرر هذه القضية انه في أي زمان ـ مكان وإذا حدثت ن إذن فإن هـ سوف تحدث .

ولقد اعترض بعض الفلاسفة بشدة على وجهة النظر هذه، وكان اعتراضهم منصباً على أن قانون الطبيعة إنما يقرر أكثر من مجرد قضية شرطية كلية صورتها إذا ـ حينئذ. ولكي نتفهم اعتراضهم جيداً علينا أن نعيد النظر، وبدقة فيما نعنيه بقضية الصورة الشرطية. وبدلاً من القضية الكلية رقم (١)، علينا أن نفترض حالة جزئية منها في الزمان ـ المكان أ .

(٢) ق أ ⊂ ك أ .

ومعنى هذه القضية هو «إذا حدثت ن في الزمن أ إذن تحدث هـ في الزمن أ وهي مفترضة من جدول صدقها الذي يقرر أن هناك أربع حالات ممكنة لقيم الصدق بالنسبة للمركبين في القضية:

١ ـ إذا كانت «ق أ» صادقة، إذن «ك أ» صادقة.
٢ ـ إذا كانت «ق أ» صادقة، إذن «ك أ» كاذبة.
٣ ـ إذا كانت «ق أ» كاذبة، إذن «ك أ» صادقة.
٤ ـ إذا كانت «ق أ» كاذبة، إذن «ك أ» كاذبة .

أما العلامة التي على شكل حدوة الفرس «⊂» والتي تعني ثابت التضمن فإننا يمكننا أن نفهمها من المثال رقم (٢) الذي يقرر أن الحالة الثانية لقيم الصدق لا تنعقد. ولا يقرر أي شيء عن ارتباط سببي بين ق أ و ك أ. فإذا كانت «ق أ» كاذبة، فإن القضية الشرطية تنعقد بقطع النظر عما إذا كانت «ك أ» صادقة أو كاذبة. وإذا كانت «ك أ» صادقة، فإنها تنعقد بقطع النظر عما إذا كانت «ق أ» صادقة أو كاذبة. ولكنها لا تنعقد فقط في حالة ما إذا كانت «ق أ» صادقة و«ك أ» كاذبة(*).

ومن الواضح أن هذا لا يعد تفسيراً قوياً لقانون. فإذا قيل مثلاً أن الحديد يتمدد بالحرارة ألا يعني أن حادثاً يتبع آخر؟ ويمكن أن يقال أيضاً أن الأرض تدور إذا سخن الحديد. وهي أيضاً قضية شرطية. ولكن لا يمكن أن تقول عنها أنها قانون، لأنه ليس ثمة ما يدعونا إلى الاعتقاد بأن دوران الأرض له أية علاقة بتسخين الحديد. ومن ناحية أخرى، عندما يذكر القانون في صيغة شرطية ألا يحمل معه معنى المركب الذي يقرر نوعاً ما من الارتباط بين حادثين، هذا الارتباط أكثر وأعلى من مجرد الإقرار بأنه إذا حدث حادث سيتبعه آخر؟ .

الحقيقة أن هناك شيئاً ما هو الذي تتجه إليه النية أو القصد، وهو عادة ما يكون «أكثر» من مجرد ما يقرره القانون، ولكن هذا الشيء «الأكثر» هو على وجه التحديد الذي يصعب تحليله. وهنا تواجهنا مشكلة الفصل في أمر البنية الدقيقة للقضية المصاغة في لغة انجليزية والتي تتناول «المحتوى المعرفي» «Comgnitive content». ان المحتوى المعرفي هو ذلك المحتوى الذي يتقرر بواسطة القضية، وهو الذي يخضع في حكمه إما للصدق أو للكذب. وغالبـاً ما تواجهنا هنا صعوبة شديدة عندما نقرر ما الذي ينتمي إلى المحتوى المعرفي في القضية، وما الذي ينتمي إلى مركبات المعنى اللامعرفي التي تظهر في القضية ولكنها تكون غير مناسبة للمعنى المعرفي في القضية .

(*) يذكر كارناب هنا قائمة الصدق الخاصة بعلاقة التضمن التي ذكرها رسل في كتاب «المبادىء» وهي تلك العلاقة التي تكذب في حالة واحدة فقط، وهي إذا كانت ق صادقة و «ك» كاذبة، أما باقي الحالات وهي ق صادقة، و ك صادقة أو ق كاذبة، ك صادقة أو ق كاذبة و ك كاذبة فهي تصدق جميعاً. (المترجم).

والمثال التوضيحي لهذا النوع من الالتباس هو حالة شاهد المحكمة الذي يقول «لسوء الحظ، صدمت سيارة النقل السيد سميث، وكسرت فخذه الأيسر». ويتقدم الشاهد الآخر للتدليل على أن الشاهد السابق لم يكن يبدو عليه إمارات كلمة «لسوء الحظ» على الاطلاق بل كان بالفعل مسروراً غاية السرور عند رؤيته السيد سميث جريحاً. فهل كذب الشاهد عندما استخدم كلمة «لسوء الحظ» أم أنه لم يكذب؟ إذا ثبت أن الشاهد لم يأسف لهذا الحادث، لكان من الواضح أن استخدامه كلمة «لسوء الحظ» لم تكن إلا على سبيل الخداع. وطبقاً لوجهة النظر هذه ينبغي أن ننعته بالكذب، ولكن من وجهة نظر المحكمة فإن الافتراض بأن العبارة قد ألقيت بعد حلف اليمين يجعل من مسألة الحلف الكاذب امراً لا يمكن البت فيه. إذ قد يفكر القاضي بأن استخدام كلمة «لسوء الحظ» لا علاقة له بالمضمون الحقيقي للعبارة «صدمت سيارة النقل السيد سميث وكسرت فخذه» عندما تكلم الشاهد عن هذا على اعتبار انه سوء حظ لكي يعطي الانطباع بأنه أسف لهذا الحادث، وهو في الحقيقة لم يأسف، فإن هذا لا علاقة له بتقرير جملته الرئيسية .

أما إذا قال الشاهد، «صدمت السيد سميث سيارة نقل، ولقد أسفت غاية الأسف أن هذا قد حدث لـه» لكانت عبارته التي تقرر الأسف أكثر وضوحاً، ولربما كانت مسألة الحلف الكاذب محلاً للاعتبار. وعلى أية حال، يتضح من ذلك أنه ليس من السهل، في الغالب الأعم، أن نقرر ما ينتمي إلى مضمون معرفي لتقرير ما وما هو مجرد عامل لمعنى لامعرفي أو لاإدراكي. إن للغة الانجليزية قواعد. ولكن ليس لديها بالطبع أحكام بها تعين ما ينبغي وما لا ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار ويكون موافقاً لقيمة صدق جملة. فإذا قال شخص ما «لسوء الحظ» وهو لا يشعر حقيقة بالأسف، فهل تكون عبارته هذه كاذبة؟ ليس ثمة شيء في قواعد اللغة الانجليزية أو معاجمها يساعدنا على الإجابة عن هذا السؤال ولا يملك اللغويون إزاء ذلك سوى بيان كيف يتعامل الناس عادة في ثقافة معينة، مع مثل هذه العبارات المعينة، ولا يمكنهم أن يقيموا الأحكام التي تقرر المسألة في كل حالة مفترضة. ومع غياب مثل هذه الأحكام يضحي من غير الممكن إجراء تحليل محكم للمضمون المعرفي (الإدراكي) لعبارات ملتبسة معينة .

وتواجهنا الصعوبة نفسها عندما نحاول ان نقرر ما إذا كانت الجملة التي صورتها «(و) (ق و ⊂ ك و)» صياغة كاملة لقانون أم أنها تتغافل عن شيء ما أساسي. ومنذ ذلك الحين بدأ فلاسفة العلم يصيغون القوانين بمساعدة الرمز «⊂»، ثابت التضمن المادي، إلا أن أصوات الاعتراض أخذت تتعالى معلنة رفضها لهذه الصياغة. فلقد أعلن بعض الفلاسفة أنه لكي تطلق

على شيء «اسم» قانون طبيعي فلابد أن يقرر أكثر من مجرد أن حادثاً ما يتبع آخر، وإنما لابد من وجود نوع ما من الارتباط الضروري بين ق وك. وقبل أن نخضع هذا الاعتراض للتقييم الشامل علينا أن نوضح أولاً وبدقة ما يعنيه هؤلاء الفلاسفة بكلمة «ضروري»، وثانياً ما إذا كان هذا المعنى ينتمي إلى المضمون المعرفي لقضية القانون أم لا .

وفيما يختص بالنقطة الأولى، حاول العديد من الفلاسفة توضيح معنى كلمة «ضرورة» عندما تنطبق على قوانين الطبيعة. وذهب مؤلف ألماني يدعى برنارد بافن «Bernard Bavink» إلى أن الضرورة في القوانين الطبيعية إنما هي ضرورة منطقية. وعلى الرغم من إصراره على هذه المقولة إلا أن معظم فلاسفة العلم أنكروا هذا. وفي رأيي، هذا خطأ كامل، لأن «الضرورة المنطقية» إنما تعني «الصلاحية المنطقية». فالقضية تكون صحيحة منطقياً فقط إذا لم تقرر أي شيء عن العالم، إنها صادقة فقط عن طريق قيمة المعاني التي تنتظمها الحدود. أما قوانين الطبيعة فهي عارضة «Contingent» ذلك انه بالنسبة لأي قانون من السهل أن نصف تتابع العمليات التي قد تخالفه «Violate it» دون وقوع في تناقض ذاتي .

افترض أن قانوناً يقرر أن «الحديد يتمدد بالحرارة» وقانوناً آخر يقرر أن «الحديد ينكمش بالحرارة » ليس ثمة عدم اتساق منطقي في القانون الثاني. لأنه من وجهة النظر المنطقية الخالصة القانون الثاني متسق مثله في ذلك مثل القانون الأول تماماً،ولكن القانون الأول مقبول أكثر من الثاني لأنه يصف انتظاماً ملحوظاً في الطبيعة. أما قوانين المنطق، فإن المنطقي يكتشفها وهو جالس إلى مكتبه يضع العلامات على ورقة أو مستغرق في التفكير وعيناه مغمضتان تماماً. ولا يمكن اكتشاف قانون الطبيعة بهذه الطريقة وإنما قوانين الطبيعة تكتشف عن طريق مشاهدة العالم ووصف انتظاماته. ولأن القانون يقرر أن انتظاماً يتكرر في كل زمان، إذن ينبغي التحقق منه تجريبياً، ويظل دائماً معرضاً للخطأ إذا ما كشفت ملاحظات المستقبل خلاف ذلك، في حين تظل قوانين المنطق صحيحة فـي كل عالم ممكن. فإذا كان ثمة ضرورة في قوانين الطبيعة، فهي بالتأكيد ليست ضرورة منطقية .

إذن ما الذي يعنيه الفيلسوف عندما يتحدث عن ضرورة في قانون طبيعي؟ ربما قال «انني اعني أن ق عندما تحدث، فلا يمكن الا تتبعها ك، وإنما ينبغي أن تحدث أيضاً ولا يمكن أن يحدث العكس»، ولكن تعبيرات مثل «ينبغي أن تحدث» و«لا يمكن أن يحدث العكس» تتشابه مع كلمة «ضروري» ومن ثم فإننا نظل في حاجة إلى توضيح ما يعنيه. إنه بالتأكيد لا يرغب في أن يعترض على القضية الشرطية، «(و) (ق و $\supset$ ك و)»، إنه يوافق عليها، ولكنه يرى فيها صياغة ضعيفة

جداً، ويود أن يعززها بإضافة شيء ما .

ولكي نوضح المسألة علينا أن نفترض وجود عالمين في الفيزياء، لكل منهما نفس المعرفة العلمية التي للآخر، وكلاهما يوافق على نفس نسق القوانين. يضع الأول قائمة بهذه القوانين معبراً عنها جميعاً بالصورة الشرطية الكلية (و) (ق و ⊂ ك و) ويقنع بهذه الصياغة دون رغبة منه في إضافة أي شيء آخر. أما الثاني فإنه يضع قائمة بنفس القوانين معبراً عنها بنفس الصورة الأولى ولكنه يضيف إليها العبارة «وينعقد هذا بالضرورة» ويمكن أن تأخذ القائمتين الصورة التالية:

ـ الفيزيائي الأول:

القانون ١ : (و) (ق و ⊂ ك و).

القانون ٢ : (و) (ب و ⊂ م و).

ـ الفيزيائي الثاني:

القانون ١ : (و) (ق و ⊂ ك و)، وينعقد هذا بالضرورة.

القانون ٢ : (و) (ل و ⊂ م و)، وينعقد هذا بالضرورة .

هل هناك أي اختلاف بين هذين النسقين من القوانين، من ناحية المضمون المعرفي، أو المعنى الإدراكي؟ لكي نجيب عن هذا من الضروري أن نجري محاولة لاكتشاف ما إذا كان يمكن تأسيس اختبار يظهر لنا أن أحدهما يتفوق على الآخر. وأن نتساءل بالمثل عما إذا كان ثمة اختلاف بين النسقين من حيث قوة احدهما على التنبؤ بالحوادث الملاحظة أكثر من الآخر .

افترض وجود عالمين في الفيزياء يتفق كل منهما على الحالة الراهنة للطقس وإنهما حررا نفس التقارير من نفس محطتي الطقس. وعلى أساس هذه المعلومة وبالاستعانة بنسق القوانين يتنبأ كل منهما بحالة الطقس غداً في لوس انجلوس. ولأنهما استخدما نفس الوقائع ونفس القوانين فسوف تكون تنبؤاتهما بالطبع متشابهة. فهل يمكن للفيزيائي الثاني استناداً إلى نفس الواقعة أن يضيف بعد كل قانون عبارة «وينعقد هذا بالضرورة». وتكون تنبؤاته في هذه الحالة أكثر أو أفضل من الفيزيائي الأول؟ بالطبع لا، لأن إضافاته لم تقل شيئاً ما عن أي وصف خاضع للملاحظة لأي حادث متنبأ به .

يقرر الفيزيائي الأول: «إذا كانت ق، إذن تكون ك، واليوم هو ق، ولذلك غداً سوف تكون ك» ويقرر الفيزيائي الثاني: «إذا كانت ق، إذن تكون ك، وهذا ينعقد بالضرورة واليوم هو ق، ولذلك غداً سوف يكون ك، أقول عاصفة رعدية. ولكن لن تكون ثمة عاصفة رعدية في

لوس انجـلوس غداً وحسب، وإنما لابد أن تكون ثمة عاصفة رعدية». ويأتي الغد، فإذا كان ثمة عاصفة رعدية، فإن كليهما يسعد بنجاح تنبؤاته، وإذا لم يكن ثمة عاصفة رعدية، فإن كليهما سوف يقول: «ولنبحث عن مصدر خطئنا. ربما لم تكن التقارير كافية أو أنها خاطئة. وربما كان أحد قوانينا خاطئاً». ولكن هل ثمة قاعدة ما اعتمد عليها الفيزيائي الثاني ولم يعتمد عليها أيضاً الفيزيائي الأول؟ بالقطع لا. صحيح أن الإضافات التي وضعها الفيزيائي الثاني في قائمة قوانينه كانت كلية ومتكاملة ولكنها لم تؤثر أدنى تأثير على قدرته في عمل تنبؤات أدق. انه يعتقد بأن قوانينه بهذا الشكل تكون أقوى، وانها تقرر أكثر مما تقرره قوانين منافسه. ولكنها أقوى فقط في قدرتها على إثارة شعور انفعالي بالضرورة في عقل الفيزيائي الثاني. وهي بالتأكيد ليست أقوى في معناها الإدراكي. لأن المعنى الإدراكي للقانون مشروط بامكانياته على التنبؤ. ولا تعد قوانين الفيزيائي الثاني عاجزة عن التنبؤ أكثر، عند أي اختبار فعلي وحسب، وإنما هي أيضاً عاجزة عن التنبؤ اكثر، من حيث المبدأ. هب أننا نأخذ بشروط طقس افتراضية ـ وهي شروط قوية لا تحدث أبداً على الأرض وإنما يمكن تخيلها ـ فإن كلا من الفيزيائيين سوف يجري على أساس وقائع مماثلة وقوائم القوانين الخاصة بكل منهما، تنبؤات مماثلة. ولهذا السبب فإن التجريبي المحدث يتخذ موقفاً مفاده، أن الفيزيائي الثاني لم يضف شيئاً ذا بال إلى قوانينه.

هذا هو مضمون الموقف الذي اتخذه ديفيد هيوم في القرن الثامن عشر. ففي نقده الشهير لسببية، أكد على أنه ليس ثمة أساس لافتراض أن «الضرورة» في حد ذاتها متضمنة في أي تتابع ملاحظ للسبب والنتيجة. انك تلاحظ الحادث أ، ثم تلاحظ الحادث ب، ما لاحظته ليس أكثر من تعاقب زمني للحادثين، الواحد بعد الآخر، وليس ثمة «ضرورة» قد تم ملاحظتها. وبما أنك لم تلاحظها في النتيجة ـ قال هيوم ـ فلا يمكنك اثباتها. فهي لم تضف لوصف ملاحظاتك أي شيء. وعلى الرغم من أن تحليل هيوم للسببية لم يكن واضحاً تمام الوضوح أو صحيحاً في كل تفصيلاته، إلا أنه كان، في رأيي، صحيحاً، إلى حد كبير، وأكثر من ذلك فقد ظل جديراً بأن يحتل بؤرة اهتمام الفلاسفة اللاحقين له، وإلى عصرنا هذا.

فمنذ عصر هيوم، وقد اكتسبت نظرته الشرطانية «Conditionalist View» دعماً قوياً أكثر فأكثر، بفضل التحليلات شديدة الأهمية للسببية التي اضطلع بها كل من ماخ، وبوانكاريه، ورسل، وشليك، وغيرهم. فلم تعد القضية التي تقرر علاقة سببية سوى قضية شرطية، تصف انتظاماً ملحوظاً للطبيعة، ولا شيء أكثر من ذلك.

والآن، دعنا نتوجه إلى مظهر آخر من مظاهر السببية، ذلك المظهر الذي يتعلق بنقطة هامة

ألا وهي، أن العلاقة السببية تختلف عن علاقات اخرى. ففي معظم الحالات، لكي نحدد ما إذا كانت العلاقة ع تنعقد بين الحادث أو الموضوع أ، والحادث أو الموضوع ب، علينا ببساطة أن ندرس أ و ب بعناية لنرى ما إذا كانت العلاقة ع تنعقد بينهما أم لا. افترض على سبيل المثال اننا أثرنا هذه الأسئلة: هل المبنى أ أطول من المبنى ب؟ علينا أن نعقد المبنيين ونتوصل إلى نتيجة. هل ورق الحائط أـ أكثر زرقة من ورق الحائط د؟ ليس من الضروري هنا أن نفحص الأمثلة الأخرى لورق الحائط لكي نجيب عن هذا السؤال، وإنما يكفي أن ندرس جـ، د تحت ضوء عادي ونتوصل إلى قرار، على أساس مفهومنا لما تعنيه «أكثر زرقة». هل هـ أخو و؟ ربما لا نعرف ما إذا كانا اخوين وفي هذه الحالة علينا أن ندرس تاريخ أنسابهم، نعود إلى الماضي، ونحاول أن نحدد ما إذا كانا ينتسبان إلى نفس الأبوين. والنقطة الهامة هي اننا لسنا في حاجة إلى دراسة حالات أخرى، وإنما علينا فقط أن نفحص الحالة قيد البحث لنحدد ما إذا كان ثمة علاقة معينة تنعقد. يكون من السهل أحياناً أن نحدد، وفي احيان اخرى يكون ذلك شديد الصعوبة، ولكن ليس من الضروري أن نفحص حالات اخرى لنقرر ما إذا كانت علاقة ما تنعقد للحالة المشار إليها.

أما فيما يتعلق بالعلاقة السببية، فإن الأمر ليس على هذا النحو. فلكي نحدد ما إذا كانت علاقة سببية معينة تنعقد بين أ، ب، فلا يكفي مجرد تعريف علاقة ثم دراسة حادثين، لا يكفي ذلك نظرياً. وإنما في الممارسة الفعلية، ولأن لدينا معرفة كثيرة جداً عن الحوادث الأخرى، ليس من الضروري دائماً أن نفحص الحوادث الأخرى قبل قولنا أن علاقة سببية تنعقد بين أ وب. إذ ربما تكون القوانين الموافقة من الوضوح والألفة إلى الدرجة التي تكون فيها مفترضة ضمناً. ولا ينبغي أن يغيب عن بالنا، اننا قبلنا هذه القوانين لأننا اجرينا ملاحظات سابقة عديدة عن الحالات التي انعقدت فيها العلاقة السببية.

أفترض انني أرى قطعة من الحجارة تتحرك تجاه نافذة، وقد اصطدمت بلوح الزجاج، وتناثر الزجاج متحولاً إلى ألف قطعة من الشظايا. هل كان اصطدام الحجارة هو السبب في تحطيم لوح الزجاج؟ أقول: «أجل»، فإذا سألتني: وكيف عرفت ذلك؟ أجيبك: لقد كان واضحاً انني رأيت الحجارة تصطدم بالنافذة. وماذا أيضاً قد يكون سبباً في تحطيم الزجاج؟ لاحظ هذه العبارة جيداً «ماذا أيضاً». أي أن السؤال ينشأ لمعرفة ارتباط الحوادث الأخرى التي تتعلق بهذا الحادث، في الطبيعة. ولا شك أننا قد لاحظنا، منذ الطفولة المبكرة، مئات الحالات التي تناثر فيها الزجاج بفعل اصطدام حجارة من هذا النوع. لذلك فإننا قد اعتدنا على هذه النتيجة. فإذا رأينا حجارة تتحرك تجاه نافذة، فإننا نتوقع تحطم الزجاج حتى قبل أن تصطدم الحجارة بلوح

الزجاج، ومن ثم فإننا نسلم جدلاً أن اصطدام الحجارة يسبب تناثر الزجاج .

ولكن فكر في كيف يسهل أن تخدعنا المظاهر. افترض أنك تشاهد في التلفاز فيلماً غربياً وأنك ترى الوغد يصوب غدارته نحو رجل آخر، ثم يضغط على الزناد، فتسمع صوت عيار ناري يسقط على أثره الرجل الآخر صريعاً. لماذا سقط؟ لأن الرصاصة اخترقته. ولكن لم يكن ثمة رصاصة. وحتى صوت العيار الناري ربما يكون قد تم تسجيله بعد الانتهاء من تصوير الفيلم، ومن ثم تكون النتيجة التي اعتقدت انك لاحظتها محض وهم وخداع، لأنها لم تكن كذلك على الاطلاق .

وفي حالة الحجارة والنافذة، ربما تكون الحجارة قد اصطدمت بسطح من البلاستيك المتين، ومن ثم لن يتحطم السطح. بل وأكثر من ذلك، ربما تكون في اللحظة التي تلقي فيها بالحجارة على هذا السطح يكون هنالك شخص آخر، يتوارى بجانب المنزل، ولكي يخدعك، فإنه يحطم النافذة بوسائل أخرى إذن من الممكن أن نخدع، أن نعتقد أن ثمة علاقة سببية تنعقد، وهي في الحقيقة لم تنعقد. ومع ذلك افترض أننا استبعدنا مثل هذه الخدعة بوصفها مستحيلة الوقوع وأن خبرتنا بالحوادث المماثلة في الماضي تجعل هذه الحالة شبيهة بحالة زجاج آخر سبق أن تحطم بنفس الوسيلة أو بغيرها من الوسائل. أو إذا كان ثمة شك في وجود خدعة علينا أن نفحص الأمر بعناية أكثر .

ولكن النقطة الأساسية التي أريد أن أشدد عليها هنا هي: اننا سواء لاحظنا الحالة بعناية اكثر ثم استنتجنا أن الحجارة هي في الحقيقة، التي سببت تحطم الزجاج، أو أننا وقعنا فريسة للشك في وجود خدعة ما وقمنا بفحص الحالة بتفصيلات اكثر، فإننا دائما ما نقوم بفحص أكثر من حالة واحدة. لأننا نستحضر ما كانت له علاقة بمئات عديدة من حالات اخرى، ذات طبيعة مماثلة، كنا قد خبرناها في الماضي. ولا يمكن أبداً أن نقرر علاقة سببية على أساس ملاحظة حالة واحدة بمفردها. وإنما نحن كالأطفال نرى الأشياء تحدث في تعاقبات زمنية، ثم نكوّن بالتدريج وعلى مر السنين، انطباعات لانتظامات معينة تحدث في خبرتنا. مثل كأس شرب يسقط ويتحطم، أو اصطدام كرة (بيسبول) بنافذة سيارة، وتهشم النافذة. وبالإضافة إلى ذلك هناك مئات من الخبرات المماثلة التي تتشابه مع مادة الزجاج، واعني بها المواد سهلة الكسر، مثل الطبق الصيني الذي يتحطم عن طريق خبطة. وبدون هذه الخبرات لا يمكن أبداً أن نقرر أي علاقة سببية بين ملاحظة الحجارة وزجاج النافذة .

افترض أننا تمكنا في المستقبل، من صنع زجاج لجميع النوافذ، بحيث لا يتحطم هذا

الزجاج الا عندما يتردد صوت عالٍ جداً. فإذا ما أضفنا هذه المعلومة إلى حصيلة خبرتنا، ورأينا زجاج النافذة يتحطم عند اصطدام الحجارة به، فإننا نصيح على الفور: «يا للمصادفة العجيبة! في نفس اللحظة التي اصطدمت فيها الحجارة بالزجاج، أصدر شخص ما، يقف بجوار المبنى، صوتاً عالي التردد مما نجم عنه تحطم الزجاج. «ومن ثم يتضح أن المظهر النوعي للعلاقة السببية لا يمكن تحديده الا بالرجوع إلى علاقات اخرى، ولذلك فهو لا يمكن أن يؤسس عن طريق فحص حالة عيانية واحدة فقط، وإنما يتم ذلك عن طريق قانون عام، هو الذي أسس بالتالي، على العديد من الملاحظات التي تجري على الطبيعة.

فعندما يقرر شخص ما أن أ سببت ب، إنما هو في الحقيقة يقرر أن هذه حالة جزئية من قانون عام، ويعد كلياً من جهتي المكان والزمان. فقد لوحظ انعقاد زوج من الحوادث في أزمنة وأمكنة أخرى، ولذلك يفترض أن ينعقدا في أي زمان ومكان. وإليك القضية التي تعبر عن ذلك تعبيراً قوياً، والتي تمثل قفزة جزئية من سلسلة حالات جزئية إلى قضية شرطية عامة. في كل حالة من حالات وإذا حدثت ق و اذن فإن ك و تحدث. أي إذا لوحظ أن ق أ قد حدثت، إذن، وبمساعدة القانون، فإن ك أ تستتبعها منطقياً. ولا يمكن لقانون أن يتقرر دون أن تكون قد سبقته ملاحظات عديدة. لأن هذه الملاحظات هي التي تجعل العلاقة السببية متميزة عن غيرها من علاقات. إذ أن العلاقة التي تقرر «ان الموضوع ل داخل الصندوق م»، يكفي فيها أن نفحص حالة الصندوق الجزئي الواحد م لكي نحدد ما إذا كان الموضوع ل داخلة أم لا. أما إذا أردنا أن نحدد علاقة سبب ـ نتيجة، وتنعقد في حالة جزئية واحدة فلا يكفي أن نفحص تلك الحالة الجزئية الواحدة، بل ينبغي أن يكون لدينا اولاً قانون مناسب، ويتطلب هذا بدوره اجراء عدة ملاحظات لحالات مماثلة لتلك الحالة الجزئية.

وأنه لشيء مثمر للغاية، فيما أرى، أن نعيد المناقشة كلية في معنى السببية، وذلك عن طريق بحث الأنواع المختلفة للقوانين التي تصاغ في العلم. فعندما تدرس هذه القوانين فإنها في الحقيقة تكون دراسة لأنواع الارتباطات السببية ـ التي يتم ملاحظاتها ـ ولا شك أن تناول مشكلة التحليل المنطقي للقوانين، سيكون أوضح وأكثر إحكاماً من تناول مشكلة ما تعنيه السببية.

ولكي نفهم السببية من وجهة النظر الحديثة هذه، يجدر بنا أن نعود إلى الأصل التاريخي للتصور ـ والحقيقة انني لم اجر دراسات خاصة بي في هذا الموضوع، ولكني اطلعت باهتمام زائد، على ما كتبه هانز كيلزن (*) «Hans Kelsen» في هذا الخصوص. وهو يعيش الآن في الولايات

(*) محام هولندي، وفيلسوف في القانون، يعيش الآن في الولايات المتحدة، وقد نشر كتاباً بعنوان المجتمع والطبيعة «Society and Nature»، وهو تحقيق اجتماعي.

المتحدة، ولكنه، في وقت من الأوقات، كان استاذاً للقانون الدستوري والدولي في جامعة فيينا. وعندما اندلعت الثورة في عام ١٩١٨، وتأسست الجمهورية النمساوية في العام التالي، كان واحداً من أبرز الذين شاركوا في صياغة الدستور الجمهوري الجديد. وفي معرض تحليله للمشكلات الفلسفية المرتبطة بالقانون، أصبح فيما يبدو، مهتمـاً بالأصول التاريخية لمفهوم السببية.

يقال في الغالب ان هناك ميلاً للموجودات البشرية إلى أن تحدد شعورها الخاص تجاه الطبيعة، لافتراض أن الظواهر الطبيعية ـ مثل المطر والرياح والضوء ـ حية، وإنها تمضي في أفعالها طبقاً لأغراض محددة، مثل الكائنات البشرية. فهل هذا هو أصل الاعتقاد بأن هناك قوى، وأسباب في الطبيعة؟ الواقع أن كيلزن أصبح مقتنعاً أن هذا التحليل لأصل التصور هو المعقول. على الرغم من أنه، فيما يبدو، شديد الخصوصية. وفي دراسته لبداية ظهور التصور عند اليونان القديم، وجد أن الأمر الاجتماعي لم يكن فردياً، وإنما كان بمثابة قدوة أو مثال، ولذلك يأتي من حقيقة انه منذ البداية وحتى يومنا هذا فإن انتظامات الطبيعة تسمى (قوانين الطبيعة) كما لو انها تتشابه مع القوانين بمعناها السياسي.

ولقد شرح كيلزن ذلك بهذه الطريقة: عندما بدأ اليونانيون ملاحظاتهم المنهجية للطبيعة، ولاحظوا انتظامات مختلفة للسبب، شعروا أن هناك ضرورة معينة تكمن وراء الظواهر، ولقد نظروا إليها بوصفها ضرورة اخلاقية تتماثل مع الضرورة الأخلاقية في العلاقات بين الأشخاص فمثلما يتطلب فعل الشر، العقاب، وفعل الخير، الثواب، كذلك يتطلب حدث معين في الطبيعة أ النتيجة ب، للاحتفاظ بحالة الانسجام بين الأشياء للحفاظ على العدالة. فإذا كان الطقس يميل إلى البرودة شيئاً فشيئاً في الخريف ثم يصل إلى الدرجة القصوى من البرودة، في الشتاء، ويقال عندئذ أن الطقس خرج عن توازنه، إذن لابد أن يعود الطقس الآن، ويميل شيئاً فشيئاً إلى الحرارة، وذلك لكي يحتفظ بالتوازن، واستقامة الأشياء. ولسوء الحظ فإنه يصل إلى الدرجة القصوى من الحرارة، ثم يعود مرة أخرى ليكرر الدورة. ولذلك فإننا نجد أنه إذا اختل التوازن في الطبيعة بدرجة كبيـرة، كان عليه أن يعود مرة أخرى ـ وفي الاتجاه العكسي ـ إلى حالة توازنه. لأن الانسجام في الطبيعة يتماثل مع الانسجام في المجتمع. وهذا المفهوم عن انتظام الطبيعة، أو الانسجام المنعكس، جعل اليونانيين يعشقون الانتظام او الانسجام الاجتماعي، أي جعلهم يعشقون الاعتدال أو التوسط في جميع الأشياء. كما جعلهم يمقتون التطرف في كل شيء.

وبنفس الطريقة نظر إلى مبدأ السببية ـ السبب والنتيجة ـ على انهما متساويان، وهو المبدأ

الذي صيغ في قوانين فيزيائية عديدة، مثل قانون نيوتن الذي يقول فيه «إن الفعل يصحبه رد فعل مساو». وشدد عليه عديد من الفلاسفة. ويعتقد كلزن أن أصل ذلك إنما يرجع إلى اعتقاد اجتماعي بأن العقوبة يجب أن تتساوى مع الجريمة. فالجريمة الأكثر شناعة تحتاج إلى عقوبة اكثر قسوة. وأكثر الأفعال استحساناً تحتاج إلى أكبر الجوائز قيمة. مثل هذا الشعور الذي أخذ تطوره في البنية الاجتماعية، قد طبق على الطبيعة وأصبح مبدأ أساسياً للفلسفة الطبيعية «يتساوى السبب مع النتيجة» «Cause aequat effectum» عبّر عنه فلاسفة العصور الوسطى، كما انه لا يزال يلعب دوراً هاماً وسط الفلاسفة الميتافيزيقيين.

وتحضرني الآن مناقشة كانت قد جرت بيني وبين رجل، قرر فيها انه ينبغي أن نرفض نظرية التطور الدارونية تماماً، وذلك لأنه ليس ثمة وسيلة على الاطلاق، يمكن عن طريقها أن تتطور الأعضاء من تركيب عضوي أولي إلى تركيبات عضوية أعقد فأعقد. لأنه من المفترض أن يخرق هذا التطور مبدأ تساوي السبب والنتيجة. ومن ثم فإن التوسط الإلهي وحده هو الذي يمكنه أن يسبب مثل هذا التحول. ولعلك تلاحظ أن اعتقاد الرجل في مبدأ تساوي السبب مع النتيجة، كان قوياً إلى الدرجة التي جعلته يعلن رفضه لنظرية علمية، لا لشيء، إلا لأنها خالفت ذلك المبدأ. وهو في الحقيقة لم يهاجم نظرية التطور من منطلق تقييمه للدليل الذي أتت به، وإنما رفضتها ببساطة، استناداً إلى أسس ميتافيزيقية، فلا يمكن للتركيب العضوي أن يأتي من تركيب لاعضـوي، لأن الأسباب ينبغي أن تتساوى مع النتائج، ومن ثم علينا أن نتوسل إلى كائن أعلى لتفسير التحسن الارتقائي. أما كيلزن، فإنه يدعم وجهة نظره ببعض اقتباسات هامة لفلاسفة يونانيين. فيتحدث هيراقليطس مثلاً عن حركة الشمس عبر السماء وهي مذعنة «لتدابير» خاصة، ويعني بها الفيلسوف الحدود المفروضة عليها والتي تحدد مسارها. وكتب يقول «لا يمكن للشمس أبداً أن تتعدى حدودها المرسومة وإذا حدث أن فعلت ذلك، لاكتشفت آرينيس «Erinyes» وصيفات دايك «Dike» سرها». وآرينيس، ثلاث جنيـات مخصصات للانتقام أما دايك فهو اله العدالة الإنسانية. ومن ثم فإن انتظام مسار الشمس يكون مفسراً في حدود الامتثال إلى قانون أخلاقي صادر بأمر عال من الآلهة، وإذا خالفت الشمس الأوامر وخرجت عن الخط المرسوم لها، فسوف تنال جزاءها.

ومن ناحية أخرى، كان هناك بعض الفلاسفة اليونانيين الذين عارضوا بشدة وجهة النظر هذه. فقد نظر ديموقريطس على سبيل المثال إلى انتظامات الطبيعة على اعتبار أنها غير شخصية «Impersonal» على الاطلاق، ولا ترتبط بأي حال من الأحوال بالأوامر الإلهية. وإنما اعتقد أن هذه القوانين تسير طبقاً لضرورة جوهرية ميتافيزيقية، ومع ذلك كانت هذه الخطوة، خطوة كبيرة

إلى الأمام، ذلك لأنها تحولت من الضرورة الشخصية للأوامر الإلهية إلى ضرورة لاشخصية، موضوعية. أما العلم اليوم، فقد تخلص من مفهوم الضرورة الميتافيزيقية أي من القانون الطبيعي. ولكن في عصر ديمقريطس، كانت وجهة نظره تقدماً هائلاً على وجهة نظر هيراقليطس.

ولقد أشار فيليب فرانك «Philipp frank» في كتاب له «عن السببية» بعنوان «Das Kausalgesetg und seine grengen» (نشر في فيينا عام ١٩٣٢، ولم يترجم إلى اللغة الانجليزية)، أشار إلى أنه من المفيد تثقيفياً وتعليمياً أن نقرأ مقدمات المراجع العلمية. وفي متن كتاب من هذا النوع، ينبغي على المؤلف أن يتحرى الدقة العلمية، ويحرص على تجنب الوقوع في براثن الميتافيزيقا. ولأن المقدمات، غالباً ما تكون شخصية إلى حد بعيد ـ وكان المؤلف لا يزال متعلقاً بأهداب الماضي السحيق ـ فلا بد انه يشعر بأن مقدمته هي المكان المناسب لإخبار القراء عما يجول في خاطره بشأن حقيقة العلم. وهنا ربما تكتشف نوع الأفكار الفلسفية التي لا تزال تسيطر على فكر المؤلف وهو يؤلف هذا الكتاب. يقتبس فرانك من مقدمة مرجع معاصر في الفيزياء هذه العبارة «إن الطبيعة لا تخالف القوانين على الاطلاق» وإلى هنا تبدو العبارة وكأنها مغلفة بحسن النية، ولكن عندما نحللها بعناية نكتشف انها ملاحظة شديدة الغرابة. ووجه غرابتها ليس في كونها دعوة إلى السببية، وإنما في الطريقة التي تعبر بها عن تلك الدعوة. ان فرانك لم يشر من بعيد أو قريب إلى أن للقانون استثناءات أو مفاجآت، وإنما هو أنكر هذا بوضوح ولكنه صاغ أفكاره بتقريره «إن الطبيعة لا تخالف القوانين على الاطلاق» وكلماته هذه تتضمن أن للطبيعة نوعاً من الاختيار وأن ثمة قوانين معينة مفترضة في الطبيعة، وإن الطبيعة من حين لآخر يمكنها أن تخالف واحدة منها، ولكن لأنها مثل المواطن الفاضل الذي يحترم قوانين بلاده، لن تفعل ذلك أبداً، وإذا سوّلت لها نفسها أن تفعل، لظهرت آرينيس على مسرح الأحداث وأعادتها إلى الطريق القويم. وكما ترى لا تزال هنا فكرة القوانين بوصفها أوامر تطاع، حية لم تمت. وهو بالطبع سوف يعدها إهانة لا تغتفر ان تنسب إليه وجهة نظر ميتافيزيقية قديمة تقرر بأن ثمة قوانين مفترضة في الطبيعة، وانه يمكن للطبيعة ان تطيعها او تعصى أمرها، ولذلك نراه يختار كلماته بعناية، بيد أن وجهة النظر القديمة لا تزال حية في رأسه.

هب أنك تستخدم، طريقة لتكون عوناً لك أثناء سيرك في شوارع مدينة تزورها لأول مرة، ثم اكتشفت فجأة أن هناك عدم تماثل واضح بين الخريطة وشوارع المدينة. فلا ينبغي عليك أن تقول عندئذ: «لا بد للشوارع أن تطبع قانون الخريطة»وإنما تقول بدلاً من ذلك «لا بد أن الخريطة خاطئة». وهذا بالضبط هو موقف العالم تجاه ما يسمى بقوانين الطبيعة. فالقوانين ما هي

الا خريطة للطبيعة قام برسمها العلماء. فإذا أكتشف عدم تماثل بينهما، فلا ينظر للمسألة على أن الطبيعة قد ارتكبت معصية، ولكن على أن العلماء هم الذين قد ارتكبوا خطأ .

وربما يصبح الامر أقل اضطراباً، إذا استغنينا كلية عن استخدام كلمة «قانون» في الفيزياء. ولكننا نستمر في استخدامها لافتقارنا الى كلمة مقبولة بصفة عامة، يمكن ان تشير إلى ذلك النوع من القضية الكلية التي يستخدمها العالم بوصفها قاعدة للتنبؤ والتفسير. وعلى أية حال فقد اتضح تماماً للعقل أنه عندما يستخدم العالم كله قانوناً، فهو بذلك إنما يشير ببساطة إلى وصف لانتظام ملاحظ. فإذا لم يكن الوصف دقيقاً، فإن اللوم يقع حينئذ على العالم لا على الطبيعة .

الفصل الوَاحِدوَالعشرون

منطق الجهات السببية

قبل الخوض في طبيعة القوانين العلمية، أود اجلاء بعض الملاحظات التي سبق أن أشرت إليها بشكل موجز عن هيوم. وانني لأعتقد ان هيوم كان على صواب في قوله انه لا ضرورة بالذات في العلاقة السببية. وأكثر من ذلك، فإنني لا أنكر امكانية تقديم تصور للضرورة، مؤكدا على أنه ليس تصوراً ميتافيزيقياً، وانما هو تصور من خلال منطق الجهات «The logic Of Modalities». فالمنطق الجهوي «Model Logic» هو ذلك المنطق الذي يزوده بقيم للصدق عن طريق تقديم مقولات كالضرورة، والإمكانية والاستحالة. ومن الأهمية بمكان أن نميز بين الجهات المنطقية (الضروري منطقياً، والممكن منطقياً، وهكذا)، والجهات السببية (الضروري سببياً، والممكن سببياً، وهكذا) تماماً كأنواع أخرى عديدة من الجهات. غير أن الجهات المنطقية وحدها هي التي نالت الحظ الوافر من الدراسة ومن أفضل الأعمال المعروفة في هذا المضمار، نسق التضمن الدقيق الذي طوره لويس «C.I. Lewis». وأنا نفسي نشرت ذات مرة ورقة في هذا الموضوع. ولكن إذا كنا بصدد العلاقة السببية، ينبغي علينا أن نركز على الجهة المنطقية، وإنما على الجهة السببية.

وفي رأيي، منطق الجهات السببية ممكن. وإلى الآن أعمال قليلة للغاية، أنجزت في هذا المضمار. والمحاولة الأولى لتأسيس نسق من هذا النوع، كان على أيدي أرثر بيركس «Arther W. Burks»، الذي اقترح نسقاً من البديهيات، ولكنه كان ضعيفاً إلى حد كبير. حيث انه لم يوضح بالفعل، تحت أي شروط يمكن أن نلاحظ القضية الكلية، باعتبارها ضرورية سببياً. ولقد تناول آخرون بشكل أساسي نفس المشكلة، ولكن باصطلاح مختلف. فعل ذلك، على سبيل المثال،

هانز رايشنباخ، في كتابه الصغير «القضايا النومولوجية(*) والعمليات المسلم بها» - «Nomologic al Statements And Admissible Operations» . ولقد عالجت العديد من الموضوعات مشكلة «الشرطيات المعاكسة للواقع» «Counterfactual Conditionals»، وهي مشكلة وثيقة الارتباط بمشكلتنا .

والقضية الشرطية المعاكسة للواقع، هي تلك القضية التي تقرر أنه إذا لم يكن هذا الحادث قد حدث، اذن لكان حادثاً آخر هو الذي أتبعه. ومن الواضح أنه لا يمكن أن ينقل معنى هذا التقرير في لغة رمزية، وذلك عن طريق استخدام الصدق الشرطي الدالي (الرمز <). بالمعنى الذي كان يستخدم به عادة. ومع ذلك فقد بذلت محاولة لتحليل المعنى الدقيق للقضايا الشرطية المعاكسة للواقع. وما نشأ عنها من مختلف المشكلات الصعبة، وكان دودريك م. شيشولم «Rodrick M.chisholm» (١٩٤٠) ونيلسون جودمان «Nelson Goodman» (١٩٤٧) من بين أول الذين كتبوا حول هذا الموضوع. ومنذ ذلك الحين تبعهما العديد من المؤلفين بكتابات أخرى.

وعلى وجه الدقة، ما هي العلاقة بين مشكلة الشرطيات المعاكسة للواقع، ومشكلة صياغة منطق الجهات، ذلك المنطق الذي سوف يدخل ضمن تصور الضرورة السببية؟ ان العلاقة تنشأ من حقيقة أنه لا بد من التمييز بين نوعين من القضايا الكلية. فمن ناحية، هناك ما يمكن أن نطلق عليه اسم القوانين الاساسية، كما هو الحال في القوانين الفيزيائية التي تصف اطرادات كلية في المكان والزمان. ومن ناحية أخرى هناك القضايا الكلية التي لا تعد قوانين أساسية. ولقد اقترح لها مصطلحات متعددة، وفي بعض الأحيان يطلق عليها اسم الكليات الاتفاقية «Accidental Universals» ومثالها هو: «كل النقود التي كانت في جيبي فى الأول من شهر يناير ١٩٥٨، فضية «ويمكن أن نفهم الاختلاف الأساسي بين نوعي القضايا الكلية، على نحو أفضل، إذا ما وضعنا في اعتبارنا أن القضايا المعاكسة للواقع ذات علاقة بها.

ولنأخذ أولاً قانوناً أساسياً، ألا وهو قانون الجاذبية. إنه يسمح لي أن أقرر أنه إذا ما ألقيت بحجر، فإنه سوف يسقط على الأرض بسرعة معينة. وأستطيع صياغة قضية مشابهة في صورة معاكسة للواقع بقولي: «أنني أمسكت بالأمس بحجر في يدي. ولكنني إذا لم أكن قد أمسكت بها، أي إذا كنت قد سحبت يدي، إذن لكانت قد سقطت على الأرض». لم تصف هذه القضية ما حدث بالفعل وإنما ما قد يمكن له أن يحدث، إذا لم أكن قد أمسكت بالحجر. ويعتمد هذا

(*) القضايا النومولوجية هي القضايا التي تختص بفن صياغة القوانين أو هي علم نواميس العقل. (المترجم).

التقرير بالأساس على قانون الجاذبية. وربما لا يستند إلى القانون بشكل صريح، وإنما هو مفترض بشكل ضمني. وعن طريق ذكر القانون، أزود عقلي بالاعتقاد في القضية المعاكسة للواقع. وبشكل أكثر وضوحاً، أنني لم أعتقد به لأنني رأيته يحدث، فهو لم يحدث، ولكن تعقلي للقضية المعاكسة للواقع يستند إلى قانون أساسي في الفيزياء، ويعد هذا القانون تبريراً كافياً للقضية المعاكسة للواقع.

وهل ينسحب نفس الشيء على النموذج الثاني من القضية الكلية، أعني الكلية الاتفاقية؟ يتضح في الحال أن ذلك محال. أفترض أنني أقول: «إذا كانت العملة التي تراها الآن، في جيبي في الأول من يناير عام ١٩٥٨، إذن لكانت قد صنعت من فضة». وواضح هنا أن المادة التي صنعت منها العملة لا علاقة لها بما إذا كانت أو لم تكن في جيبي في تاريخ محدد. إذن القضية الكلية التي تقرر أن «كل العملات التي كانت في جيبي في الأول من يناير عام ١٩٥٨، كانت قضية لا تصلح لأن تكون أساساً لتقرير قضية معاكسة للواقع. ومن ثم يتضح أن هناك بعض القضايا الكلية التي تصلح لأن تكون قاعدة معقولة للقضية المعاكسة للواقع، بينما لا تصلح أخرى لذلك. وربما نكون على قناعة أن القضية الكلية الاتفاقية صادقة، لكن لا ينبغي أن ننظر إليها بوصفها قانوناً. ومن الضروري أن نحتفظ بهذا التمييز في ذهننا عند تحليل معنى القضايا المعاكسة للواقع، لأنه يتضمن أيضاً مشكلة الجهات اللامنطقية، أي الجهات السببية.

إن الفكرة الموجهة في أطروحتي للمشكلة هي على النحو التالي. إفترض أن شخصاً ما يقترح قضية بوصفها قانوناً جديداً في الفيزياء. ولا نعرف ما إذا كانت هذه القضية صادقة أو كاذبة، لأن الملاحظات التي أجريت عليها لم تكن مرضية إلى حد كاف، ولكنها قضية كلية، لأنها تقرر أنه، إذا وقع حادث معين في أي زمان أو مكان، فإن حادثاً آخر سوف يتبعه. وبالنظر إلى صورة القضية، يتقرر - في حالة صدقها - ما إذا كان ممكناً أن يطلق عليها اسم القانون الأساسي. بيد أن مسألة صدق القانون من عدمه تعد غير ذات أهمية، ذلك لأن ما يعنينا فقط هو ما إذا كان القانون له صورة القانون الأساسي أم لا. فإذا اقترح شخص على سبيل المثال، قانوناً في الجاذبية، ينص على أن قوة الجاذبية تقل عن ثلث قوة المسافة، فمن الواضح أن هذا القانون إنما هو قانون خاطىء، لأنه لا ينعقد في هذا العالم. ولكن من السهولة أن ندرك عالما ينعقد فيه ذلك القانون. ولذلك بدلاً من تصنيف القضايا إلى نومولوجية أو قوانين أساسية (التي يفترض أن تكون صادقة) وأخرى غير نومولوجية، فإنني أفضل أن أقسم القضايا وبغض النظر عن قيم صدقها - إلى هاتين الفئتين:

(١) قضايا لها صورة شبه قانونية «Lawlike form» (وتسمى أحياناً «صورة إسمية») و(٢) قضايا ليست لها تلك الصورة. وتشتمل كل فئة على قضايا صادقة وأخرى كاذبة. والقضية التي تقرر أن «الجاذبية تزيد على ثلث قوة المسافة» تعد من النوع الأول. فهي شبه قانون، حتى على الرغم من أنها لا تعد صادقة، ومن ثم فهي ليست قانوناً. أما القضية التي تقرر أنه «في الأول من يناير عام ١٩٥٨، كان كل الرجال الذين يقطنون لوس أنجلوس، يرتدون أربطة عنق أرجوانية اللون». فهي تعد من النوع الثاني. لأنها حتى لو كانت صادقة فإنها مع ذلك تظل لا تعبر عن قانون وإنما فقط عن حالة اتفاقية حدثت في زمن خصوصي.

وفي اعتقادي أن التمييز بين هذين النوعين من القضايا، يمكن تحديده بدقة. بيد أن هذا لم يتم بعد. ولكن حتى إذا تم، فإن شعوراً ينتابني، بأنني لن أتمكن من وضعه بقوة أكثر، وذلك لأنه يمكن أن يكون تمييزاً سيمانطيقياً خالصاً(*) «A purely semantic» وما أعنيه هو أنه إذا قدم لي شخص ما القضية الكلية س، وكنت قد أجريت لنفسي تمييزاً واضحاً بشكل كاف بين النوعين، فإنني لن أجري أي اختبارات لكي أقرر ما هو نوع القضية، وإنما سوف أسأل نفسي فقط: ما إذا كانت القضية س صادقة، وما إذا كنت أنظر إليها بوصفها قانوناً؟ ولكي نضع المسألة بإحكام أكثر أتساءل: هل يتسنى لي أن أنظر إليها بوصفها قانوناً أساسياً؟ وأخيراً سوف أشرح باعثي على إجراء مثل هذا التمييز. غير أنني أود الآن أن أوضح ما أعنيه بقولي «الحصول على صورة قانون أساسي ممكن» أو، بدقة أكثر «الحصول على صورة إسمية».

ولقد أوضح جيمس كلارك ماكسويل «James Clerk Maxwell» الشرط الأول الذي تتطلبه القضية ذات الصورة الإسمية، وهو الذي سبق أن طور النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية منذ قرن مضى. فلقد أشار إلى أن القوانين الأساسية للفيزياء لا تتحدث عن أي موقع خصوصي في المكان أو أي نقطة خصوصية في الزمان، وإنما هما عموميان تماماً، لأن القوانين تنعقد في أي مكان، وفي كل زمان. وهذا فقط هو الطابع المميز للقوانين الأساسية. ولا شك أن

(*) السيمانطيقا هي علم دلالات الألفاظ وتطورها، وهي جزء من الدراسة الفلسفية العامة للغة التي يطلق عليها اسم السميوطيقا «Semiotic»، والسميوطيقا هي الأساس العلمي لتوحيد العلوم، وتضم الفروع الأساسية المتعلقة بالعلامات والأشياء والأشخاص، وهذه الفروع هي التركيب اللغوي أو السنتاكس «Syntax»، والمعنى والدلالة أو السيمانطيقا، ثم أخيراً علاقة اللغة بالشخص المتكلم، أو البرجماطيقا «Pragmatic» ويرى كارناب أن هناك نوعين من السيمانطيقا الأولى وصفية وهي عبارة عن دراسة تجريبية للعلامات ومعانيها الواقعية المستخدمة بالفعل، والثانية خالصة أي لا يمكن اعتبارها دراسة تجريبية، وإنما هي دراسة معيارية تضع قواعد العلامات وتحدد معانيها الصحيحة وهذا النوع الأخير هو الذي يقصده كارناب هنا. (المترجم).

ثمة قوانين تقنية «Technical» وعملية «Practical» هامة ومتعددة، ولكنها لا تنتمي إلى هذا النوع من القوانين، وإنما تقف في موقع متوسط بين القوانين الأساسية، والقوانين الاتفاقية، ولكنها ليست اتفاقية تماماً. فعلى سبيل المثال القضية «كل الدببة التي تعيش في القطب الشمالي، بيضاء «ليست قانوناً أساسياً، لأنه يمكن للوقائع أن تكون على خلاف ذلك تماماً. ومن ناحية أخرى، لا يمكن أن تكون اتفاقية تماماً، فهي بالتأكيد ليست اتفاقية، مثلها في ذلك مثل واقعة كل النقود التي كانت في جيبي، في تاريخ معين، كانت قضية، لأن القضية التي تتعلق بالدببة القطبية إنما تعتمد على ضرب من القوانين الأساسية التي تحدد المناخ القريب من القطب الشمالي، وخضوع الدببة للتطور، وعوامل أخرى كثيرة. ومن ثم فإن لون الدببة هنا لم يكن اتفاقياً. ومن ناحية أخرى، قد يتغير المناخ في غضون المليون سنة القادمة، وتنتشر أو تعيش بالقرب من القطب، أنواع أخرى من الدببة بلون فرو مختلف. ومن ثم لا يمكن أن نطلق على هذه القضية اسم قانون أساسي.

وقد يظن أحياناً أن ثمة قانوناً اساسياً، ولكن يثبت أخيراً أنه محدود بزمان ومكان، أو شروط خاصة. فلقد تكلم اقتصاديو القرن التاسع عشر عن قوانين العرض والطلب بوصفها قوانين اقتصادية عامة. وانبرى الماركسيون يكيلون انتقاداتهم، مشيرين إلى أن ذلك يصدق فقط على نمط معين من اقتصاد السوق، ولا ترقى أبداً هذه القوانين إلى مستوى القوانين الطبيعية، كما أننا نجد في العديد من المجالات ـ البيولوجية، والسوسيولوجية، والأنثروبولوجية، والاقتصادية ـ قوانين تبدو من الوهلة الأولى أنها عمومية. ولكن ذلك ينشأ فقط بسبب أن المؤلف لا ينظر أبعد من حدود وطنه أو قارته أو حقبته التاريخية. فقد نظن مثلاً أن القوانين إنما تعبر عن سلوك أخلاق كلي، أو عن أشكال كلية من العبادة الدينية، ولكنها تضحى قوانين محدودة عندما نكتشف أن ثمة ثقافات أخرى تسلك سلوكاً مختلفاً. ونعتقد اليوم في إمكانية وجود حياة على كواكب أخرى، فإذا صح هذا الاعتقاد، لما انطبقت كثيراً من القوانين البيولوجية ـ والتي تبدو لنا كلية بالنسبة إلى الكائنات الحية والأرضية ـ على الحياة في مكان آخر من المجموعة الكوكبية. ويتضح من ذلك أن ثمة قوانين عديدة لا اتفاقية، ولكنها تنطبق فقط على أقطار معينة محدودة بالزمكان، كما أنها ليست كلية. ومن الضروري أن نميز بين هذه القوانين والقوانين الكلية والاعتقاد السائد الآن هو أن القوانين الفيزيائية صادقة في كل زمان ومكان، فقد اقتنع ماكسويل، عندما كان يصوغ معادلاته الجبرية عن الكهرومغناطيسية، أنها ليست صالحة في معمله وحسب، وإنما هي صالحة أيضاً في أي معمل آخر، كما أنها ليست صالحة على الأرض وحسب، وإنما في الفضاء أيضاً، أي على القمر وكوكب المريخ، وأن القوانين التي كان يصوغها إنما هي قوانين كلية عن العالم والكون.

وعلى الرغم من أن قوانينه قد عدّلتها ميكانيكا الكّم إلى حدّ ما، إلا أنها قد عدّلت فقط، ولاعتبارات هامة لا يزال ينظر إليها بوصفها قوانين كلية، كما أنه عندما يذكر فيزيائي حديث قانوناً أساسياً، فهو يقصد بذلك أنه قانون كلي. وينبغي أن نميز مثل هذه القوانين الأساسية عن القوانين المحدودة زمكانياً، وأيضاً عن القوانين المشتقة التي لا تنعقد إلا على أنواع معينة من النظم الفيزيائية والمواد المعينة وهكذا.

ومن ثم نجد أن مشكلة التعريف المحكم، لما أطلقنا عليه اسم الصورة الإسمية التي هي صورة القانون الأساسي الممكن لم تستقر بعد. وبالتأكيد ينبغي أن يدخل شرط ماكسويل، الذي يقرر أن القانون إنما هو ما ينطبق على كل الأزمنة والأمكنة، في هذا التعريف. بيد أنه يمكن أن تكون هناك شروط أخرى، ولقد اقتُرح بالفعل العديد منها، إلا أن فلاسفة العلم لم يتفقوا بعد، وبشكل تام، على أي من هذه الشروط الإضافية التي ينبغي الأخذ بها. ولنضع جانباً هذه المشكلة غير المحلولة، ونفترض أن ثمة تعريف دقيق للصورة الإسمية. وسوف أذكر من وجهة نظري، كيف يمكن لهذه الصورة أن تمدنا بقاعدة لتعريف بعض المفاهيم الأخرى الهامة. أولاً، إنني أعرِّف القانون الأساسي المتعلق بالطبيعة بأنه قضية ذات صورة إسمية، وصادقة أيضاً. وربما يشعر القارىء بعدم ارتياح لهذا التعريف. ولقد اعترض بعض من أصدقائي على ذلك بقولهم ان التجريبي لا يمكنه أبداً أن يتحدث عن وجود قانون صادق، لأن القانون يشير إلى عدد لانهائي من الحالات التي تجري في كل زمان ومكان، ولا يمكن لكائن بشري أن يعرف على نحو يقيني ما إذا كان هذا القانون يجري على نحو كلي أم لا، وأنني أوافق تماماً على هذا القول، ولكن ينبغي أن نجري تمييزاً واضحاً بين اليقين والصدق. ولا يمكن أن يكون هناك بالطبع أي يقين، وإنما يوجد في الحقيقة يقين أقل، عندما يتعلق الأمر بقانون أساسي يعالج واقعة جزئية. فلا بد أن أكون متيقناً من أن هذا القلم المعين قد سقط من يدي على الدرج، أكثر من يقيني بكلية قوانين الجاذبية. ومع ذلك، فإن هذا لا يمنع المرء من الحديث. ويكون لحديثه معنى كامل ـ عن وجود قانون صادق أو غير صادق وليس ثمة سبب يمنعنا من استخدام مفهوم الصدق في تعريف قانون أساسي.

بيد أن أصدقائي واصلوا النقاش وقالوا أنهم يفضلون استخدام عبارة «درجة عالية من الثبات» بدلاً من كلمة «صدق». وكان رايشنباخ قد ذكر في كتابه «القضايا النومولوجية والعمليات المسلم بها «أن هذه العبارة تأتي بنفس النتيجة على الرغم من اختلاف المصطلح. إذ ان كلمة «صادق» تعني «المؤسس جيداً» «Well Established» أو أن «أساس الدليل المتاح في الزمن الماضي أو الحاضر أو المستقبل، ثابت بدرجة عالية» إلا أنني أشك في أن هذا هو ما يعنيه العلماء

عندما يتحدثون عن قانون أساسي للطبيعة، وإنما هم يعنون به، شيئاً ما في الطبيعة يحدث بقطع النظر عما إذا كان هناك كائن بشري يدركه أم لا. وإنني لمقتنع أن هذا هو الذي قصده معظم كتاب الماضي، تماماً كما يقصده علماء اليوم عندما يتحدثون عن قانون الطبيعة. وتنحصر مشكلة تعريف «القانون الأساسي» في أن القانون يقف عاجزاً أمام درجة الثبات التي يتوصل إليها، لأن هذه الدرجة بالطبع، لا تزودنا باليقين الكامل والكافي. فالمشكلة إذن متعلقة بالمعنى الذي يقصده العلماء عندما يستخدمون هذا المفهوم في محاضراتهم.

وكثيراً من الذين يأخذون بالمذهب التجريبي «Empiricists» ينتابهم شعور بعدم الارتياح عندما يطرحون هذه المسألة لأنهم يشعرون بأن من واجب التجريبي ألا يستخدم على الإطلاق مثل هذه الكلمة الخطيرة المرعبة، «صادق» بل أن أوتو نيوراث «Otto Neurath» يذهب إلى أنه من الخطيئة الكبرى التي نرتكبها في حق المذهب التجريبي، أن نتحدث عن القوانين بوصفها قوانين صادقة. ويتبنى البرجماتيون الأمريكيون بما فيهم وليام جيمس، وجون ديوي، وجهات نظر شبيهة بذلك. يرجع الإخفاق، في رأيي، في تفسير هذا الحكم، إلى عدم التمييز الواضح بين هذين المفهومين المختلفين: (١) الدرجة التي نؤسس عليها القانون في زمن معين، و (٢) المفهوم السيمانطيقي لصدق القانون. ومرة أخرى أقول، لقد تحقق هذا التمييز، وفطن إلى أنه يمكن التزود بتعريف محكم للصدق عن طريق السيمانطيقا، وأنه ليس ثمة سبب يدعونا إلى التردد في استخدام كلمة «الصدق» في تعريف قانون أساسي للطبيعة.

ولقد اقترحت التعريف التالي: تكون القضية صادقة سببياً أو صادقة ـ س، إذا كانت نتيجة منطقية لفئة كل القوانين الأساسية. وسبق أن عرّفت القوانين الأساسية بوصفها قضايا ذات صورة إسمية، وصادقة. تلك القضايا الصادقة ـ س والتي لها صورة كلية، إنما هي قوانين بالمعنى الأوسع للكلمة، فهي إما أن تكون قوانين أساسية أو قوانين مشتقة. وأما القوانين المشتقة فهي تلك القوانين التي تكون محدودة بمكان وزمان، مثل قوانين علم الأرصاد الجوية.

افترض هاتين القضيتين. «خلال شهر مارس ١٩٥٠» ثبتت درجة الحرارة، في مدينة بروكفيلد، على نقطة تحت الصفر، وذلك منذ منتصف الليل وحتى الخامسة صباحاً. وفي الخامسة صباحاً كانت بحيرة المدينة مغطاة بالجليد» هذا قانون مشتق. قارن هذه القضية بالقضية الثانية التي تجري على منوال الأولى فيما عدا نهايتها: «. . . وبعدئذ، أقيمت مباراة في كرة القدم بالاستاد، وكان ذلك بعد الظهر.». هذه القضية أيضاً صادقة، لأن كل يوم سبت كانت تقام مباراة في كرة القدم، وأن شرط درجة الحرارة المعينة، كان يتحقق مرتين فقط في مارس ١٩٥٠،

وكلاهما يحدث في صباح يوم السبت. ومن ثم، فإن القضية الثانية، برغم كونها صادقة، ولها نفس الصورة المنطقية التي للأولى، إلا أنها ليست قانوناً، وإنما هي مجرد قضية كلية اتفاقية ويوضح هذا المثال، أنه على الرغم من افتراض صدق القضايا التي تأخذ صورة كلية، إلا أن التمييز بين نوعي القوانين المشتقة في هذه الحالة والكليات الاتفاقية لا يمكن أن يتم على أساس واحد في التحليل السيمانطيقي للقضايا، وإنما يمكن أن يتم، في رأيي، بطريق غير مباشر، وذلك بمساعدة مفهوم القانون الأساسي. لأن القانون المشتق إنما هو نتيجة منطقية لفئة القوانين الأساسية، أما القضية الاتفاقية فهي ليست كذلك. ومع ذلك، فإن التمييز بين صور القوانين الأساسية، والكليات الاتفاقية، يمكن أن يتم في اعتقادي عن طريق التحليل السيمانطيقي الخالص، ودون الرجوع إلى معرفة واقعية.

ولقد دافعت في كتابي المعنى والضرورة «Meaning and Necessity» عن وجهة النظر التي ترى أن أفضل تفسير للجهات المنطقية هو أنها خواص قضايا شبيهة لخواص سيمانطيقية معينة للعبارات التي تعبر عن تلك القضايا. افترض أن العبارة س ١، في اللغة ل، تعبر عن القضية ق ١، إذن تكون ق ١ قضية ضرورية منطقياً، إذا، وفقط إذا كانت س ١ صادقة ـ م في اللغة ل (وأنا أستخدم الحد «صادقة ـ م» بدلاً من «صادقة منطقياً»). ولذلك فإن العبارتين التاليتين تكونان متكافئتين:

(١) س ١ تكون صادقة ـ م (في ل).
(٢) ق ١ تكون ضرورية منطقياً.

وبكلمات أخرى، لكي نقول إن قضية ما ضرورية منطقياً، هو نفس القول بأن أي عبارة تعبر عن القضية تكون صادقة ـ م. ويمكن أن تختص مفاهيم ـ م السيمانطيقية (صدق ـ م، كذب ـ م، تضمن ـ م، تكافؤ ـ م) للغات التي تكون قوية بشكل كاف للتعبير عن كل القضايا الرياضية والفيزيائية، ومن ثم نتوصل إلى حل مشكلة تفسير الضرورة المنطقية. وفي رأيي أن أفضل معالجة للجهات الأخرى، وبصفة خاصة، الجهات السببية، هي تلك التي تتخذ لنفسها مسلكاً شبيهاً بهذا المسلك.

وكمثال لما أعنيه، أفترض أن الاختلاف بين القضيتين (١) و(٢) السابقتين هو في أن س ١ هي اسم الجملة ولذلك فإن (١) تكون قضية فيما وراء اللغة «Metalanguage»[١] من

---

(١) ما وراء اللغة هي اللغة التي تدور حول اللغة أو هي لغة فوقية تعتني بالألفاظ في حد ذاتها دون الاهتمام بموضوع (المترجم).

جهة أخرى تكون (٢) قضية اللغة موضوع «Object Language»[1] برغم أنها ليست لغة موضوع ما صدق «Extensional»[2]. وإنما لغة موضوع ذات روابط خالية من دوال الصدق. وتكتب الجملة (٢) في صورتها الرمزية، على هذا النحو:

(٣) ض (ق ١).

وهذا يعني أن «ق ١ قضية ضرورية منطقياً».

وأعرّف بنفس الطريقة «الصورة الاسمية» أولاً، ثم «القانون الأساسي» وأخيراً صادق ـ س، (أي صادق سبباً)، وهي جميعاً مفاهيم سيانطيقية، ومن ثم، إذا أردنا أن نحصل على القضية:

(٤) س[١] تكون صادقة ـ س.

لأمكننا القول إن القضية المعبر عنها بـ س ١، ضرورية بالمعنى السببي، وتكتب على هذا النحو:

(٥) ق ١ ضرورية سببياً.

أو في صورته الرمزية:

(٦) ض س (ق ١).

وأثناء تعريفي للحدود، تكون فئة القضايا الضرورية سببياً، مفهومة، لأنها تحتوي القضايا الضرورية منطقياً. وهذه الوسيلة، في رأيي، أفضل من وسائل أخرى لتعريف نفس الحدود، وأقول أفضل فقط، لأن موضوع الجهات السببية لم يطرح على بساط البحث على نطاق واسع، لأنه موضوع متشعب ومعقد. واسمحوا لي أن أتوقف عند هذا الحد، حتى لا أضطر إلى استخدام مصطلحات فنية أكثر من ذلك.

---

(١) لغة الموضوع هي اللغة التي تشير إلى الموضوع الذي تتحدث عنه هذه اللغة، من حيث ان القضية تشير إلى موضوع خارجي. (المترجم).

(٢) كل اسم أوحد منطقي إما أن يشير إلى موضوع أو موضوعات معينة، وإما أن يشير إلى صفة أو صفات يحتويها ذلك الموضوع. والموضوعات التي يشير إليها الاسم أو الحد تسمى بالماصدق «Extension»، أما الصفات أو الكيفيات فتسمى بالمفهوم «Intension». (المترجم).

الفصل الثاني والعشرون

الحتمية وحرية الارادة

إنني أفضل استخدام مصطلحي «السببية» و «البنية السببية للعالم» بمعنى واسع جداً: لأن القوانين السببية ما هي إلا تلك القوانين التي تمكننا من التنبوء بالحوادث وتفسيرها. كما أن مجمل هذه القوانين جميعاً، تصف لنا البنية السببية للعالم.

ونحن لا نتحدث بالطبع في حديثنا اليومي عن تسبيب أ لـ ب، إلا إذا كانت ب تالية في الزمن لـ أ، وإلا إذا كان ثمة خط مباشر من أ إلى ب. فإذا شاهدنا آثار أقدام على الرمال، لاستدللنا على أن شخصاً ما قد سار على الرمال، ولا يمكن أن يقال إن آثار الأقدام سببت سير الشخص على الرمال، حتى على الرغم من أن السير يمكن أن يستدل عليه من آثار الأقدام ويكون ذلك على أساس من قوانين سببية. وبالمثل عندما تكون أ و ب نتيجتين نهائيتين لسلسلة سببية طويلة وترتدان إلى سبب عام، لا يقال إن أ سببت ب، فإذا كان الوقت نهاراً، لأمكننا أن نتنبأ بحلول الليل، لأن للنهار والليل سبباً عاماً، ومن ثم لا يقال إن الواحد منهما سبب للآخر. وبالمثل إذا اطّلعنا على جدول مواعيد القطارات، لأمكننا أن نتنبأ بوصول القطار في وقت معين، ولا يعتقد أن تدوين المواعيد في الجدول سبب وصول القطار، لأن الحادثتين ترتدان هنا أيضاً إلى سبب عام. وهو القرار الذي اتخذته إدارة هيئة السكك الحديدية والذي بدأ بسلسلتين متفرقتين من الحوادث المرتبطة معاً سببياً والذي بلغت ذروته في أ و ب. فإذا قرأنا جدول المواعيد فإننا نجري استدلالاً سببياً بأن نقتفي أثر سلسلة واحدة، ومنها نتقدم إلى الأخرى. ولا يكون الاستدلال في هذه العملية مباشراً لأننا لا نقول إن ب نتيجة أ. ومع ذلك فإن هذه العملية تعد استدلالاً سببياً، وليس ثمة ما يدعونا إلى الامتناع عن استخدام الحد «قانون سببي» بشكل واسع، ليعني انطباقه على كل القوانين التي تساعدنا على التنبؤ بحوادث معينة وتفسيرها طبقاً

لحوادث أخرى، بغض النظر عما إذا كانت الاستدلالات تأتي سابقة أو لاحقة في الزمن.

وفي سياق وجهة النظر هذه، ماذا يمكن أن يقال عن المصطلح «حتمية»؟ إن الحتمية في رأيي ما هي إلا مبحث خاص يدور حول البنية السببية للعالم. فهي أطروحة تؤكد على أن هذه البنية السببية، من القوة بحيث يمكنها أن تعطي وصفاً كاملاً عن الحالة الكلية للعالم، في لحظة معينة من الزمن، وعندئذ وبمساعدة القوانين، يمكن حساب أي حادث سواء أكان في الماضي أو المستقبل. تلك هي وجهة النظر التي تبناها نيوتن، وقام لابلاس بتحليلها تفصيلاً. ويتضمن هذا بالطبع أننا أثناء وصف الحالة اللحظية للعالم، لا نقوم بوصف موضع كل جزيء في العالم وحسب، وإنما نقوم أيضاً بوصف سرعته. فإذا كانت البنية السببية قوية إلى هذه الدرجة، لسمحت لنا هذه الأطروحة أن نقرر - وأنا أذكرها كما ذكرها لابلاس - أن هذا العالم ليس بنية سببية وحسب، وإنما هو أيضاً، وبصفة خاصة، بنية حتمية.

وفي فيزياء العصر الحالي، وعلى الرغم من أن لميكانيكا الكم بنية سببية، إلا أن معظم الفيزيائيين وفلاسفة العلم، يرفضون نعتها بالحتمية، ذلك لأنها، كما يقولون، أضعف من بنية الفيزياء الكلاسيكية لاشتمالها على قوانين أساسية، هي في جوهرها احتمالية، ومن ثم فهم لا يستطيعون إعطاء صياغة تأخذ الشكل «إذا كانت لمقادير معينة، قيماً معينة، إذن لكانت لمقادير أخرى معينة، فيما أخرى محددة تحديداً مطلقاً»؛ ذلك لأن القانون الإحصائي أو الاحتمالي إنما يقرر أنه إذا كانت لمقادير معينة قيم معينة إذن لكان ثمة توزيع احتمالي لقيم المقادير الأخرى. فإذا كانت بعض القوانين الأساسية للعالم احتمالية هكذا، فلا يمكن لأطروحة الحتمية أن يقوم لها قائمة. وصحيح أن معظم الفيزيائيين اليوم لا يقبلون الحتمية بالمعنى الصارم الذي عرضناه هنا، إلا أن هناك قلة قليلة لا تزال تعتقد في أن الفيزياء قد تعود إليها في يوم ما. بل إن إينشتين نفسه لم يتخل أبداً عن هذا الاعتقاد، فلقد كان مقتنعاً طوال حياته أن الرفض الحالي للحتمية في الفيزياء ما هو إلا حالة مؤقتة. وإلى يومنا هذا، لا ندري، ما إذا كان اينشتين على صواب أم على خطأ.

وفي تاريخ الفلسفة تعد مشكلة الحتمية وثيقة الصلة بمشكلة حرية الإرادة، وهي تصاغ دائماً على هذا النحو: هل يمكن للإنسان أن يختار بين أفعال ممكنة مختلفة، أم أن شعوره بأن لديه حرية في الاختيار وهماً وضلالاً؟ لن نخوض هنا في مناقشة تفصيلية لهذه المسألة، لأنها في رأيي لا تمثل أي تأثير على المفاهيم أو النظريات الأساسية في العلم، ولا أشاطر رايشنباخ الرأي في أنه إذا ظلت الفيزياء على موقفها الكلاسيكي من الحتمية الصارمة، لما أمكننا أن نتحدث حديثاً ذا معنى عن حرية الاختيار أو التمييز أو اتخاذ قرار عقلي، أو أن نكون مسؤولين عن أفعالنا.. الخ.

وأعتقد أن كل تلك الأشياء يكون لها معنى بشكل كامل، حتى في عالم تسوده أقصى درجات الحتمية[1].

ويمكن تلخيص الموقف الذي أعارضه ـ وهو الموقف الذي اتخذه رايشنباخ وآخرون على النحو التالي: إذا كان لابلاس على صواب في قوله إن الماضي والمستقبل الكلي للعالم محتم بشكل كامل، لما كان «للاختيار» أي معنى ولأضحت الإرادة الحرة محض وهم وخداع. ولأننا نؤمن من كل الإيمان أن لدينا اختياراً، وأننا نستطيع أن نعقد عزمنا بالفعل، فلا يمكن أن يكون كل حادث محتماً بالحادث الذي قبله، بل وبالحوادث التي حدثت حتى قبل مولدنا. ولكي نسترجع المعنى الحقيقي «للاختيار» يصبح من الضروري أن نتطلع إلى لاحتمية الفيزياء الحديثة.

ولهذا السبب بالتحديد، أعارضهم كل المعارضة، لأنني أعتقد أنهم يخلطون بين معنى التحتيم النظري، أي المعنى الذي يتحتم فيه حادث بحادث سابق عليه طبقاً لقوانين معينة (وهي لا تعني أكثر من القدرة على التنبؤ على أساس انتظامات ملاحظة) وبين الجبر أو القسر أو الإلزام. وإنني لأدعوك أن تنسى للحظة، فيزياء العصر الحالي، لأن الحتمية فيها لم تنشأ بالمعنى القوي، وأن نفكر برؤية القرن التاسع عشر. كانت وجهة النظر المقبولة بشكل عام، وهي تلك التي ذكرها لابلاس. حالة لحظية مفترضة للكون، وإنسان خارق لديه القدرة على الوصف الكامل لتلك الحالة كما أن لديه كل القوانين (وبالطبع لا يوجد مثل هذا الإنسان، ولكن وجوده مفترض) إذن لأمكنه أن يحسب أي حادث سواء أكان في الماضي أو المستقبل. وحتى إذا كانت وجهة النظر التي تقول بالحتمية الصارمة صحيحة، لما استتبع ذلك أن تلزم القوانين أي شخص على فعل ما لا يريد فعله، لأن القدرة على التنبؤ شيء والإجبار أو القسر أو الإلزام شيء آخر تماماً.

ولتفسير هذا أفترض أن مسجوناً في زنزانة أراد أن يهرب، ولكنه وجد نفسه محاطاً بأسوار سميكة، وباب محكم الإغلاق، يعد هذا قسراً حقيقياً، ويمكننا أن نطلق عليه اسم القسر السلبي، لأنه يمنعه من فعل شيء ما يريد أن يفعله. بيد أن هناك أيضاً قسراً إيجابياً. أفترض أنني أقوى منك، وأنك تحمل في يدك طبنجة، ولا تنوي استخدامها، ولكنني إذا أمسكت بيدك، وصوبت الطبنجة إلى شخص ما، ثم ضغطت إصبعك بقوة حتى جذب زند الطبنجة أكون بذلك

---

(١) يمكنك الاطلاع على مناقشة تفصيلية لهذه المسألة، من وجهة النظر التي أؤيدها في نشرة بعنوان «حرية الإرادة» التي ظهرت في مجلة «المعرفة والمجتمع» الذي قامت بنشره رابطة جامعة كاليفورنيا. نيويورك ١٩٣٨. واتفق مؤلفو النشرة مع الناشرين على عدم ذكر أسماء أي منهم إلا أنني أدركت على الفور أن بول مارهينك «Paul Marhenke» هو الذي كان يترأس تحرير هذه المجلة، لأن النقاط الرئيسية في النشرة كانت تتفق ووجهة نظر موريتز شليك الذي كان في زيارة لرئيس التحرير السابق بيركلي، فأظهرت النشرة مدى تأثيره الواضح.

قد أرغمتك على إطلاق النار، أي على أن تفعل شيئاً ما، لم تكن ترغب في فعله. والقاعدة التي سوف أسلم بها هنا هي، انني المسؤول عن إطلاق النار، ولست أنت. وهذا هو القسر الإيجابي بالمعنى الفيزيائي الضيق. أما إذا كان هناك شخص ما اضطر آخر بكل أنواع الوسائل غير الفيزيائية كالتهديد مثلاً بنتائج وخيمة العواقب، لكان هذا قسراً بمعنى أوسع.

قارن الآن بين كل هذه الأشكال المختلفة للقسر، وبين التحتيم بمعنى انتظامات تحدث في الطبيعة. من المعلوم أن للكائنات البشرية خواصاً نوعية معينة تعطي انتظاماً لسلوكها. وكان لي صديق، مغرم جداً بمقطوعات باخ «Bach» الموسيقية، التي كان من النادر عزفها، وعلمت أن مجموعة من الموسيقيين الممتازين يقومون بعزف خاص لباخ، في بيت صديق آخر، وأن بعضاً من هذه المقطوعات في البرنامج. ولقد دعيت وقيل لي أن من حقي إحضار شخص ما معي. ودعيت صديقي ولكن قبل أن أفعل هذا، غلبني يقين ما بأنه سوف يلبي الدعوة. والآن على أي أساس قمت بهذا التنبؤ؟ إنني قمت بالطبع لأنني أعرف خواصه النوعية، وقوانين معينة في علم النفس. أفترض أنه قد أتى معي بالفعل، كما توقعت. أيكون معنى هذا أنه قد اضطر إلى ذلك؟ كلا وإنما هو ذهب بكامل إرادته الحرة بل إنه في الحقيقة، لم يكن حراً قط، أكثر مما هو عليه الآن، عندما اختار هذا النوع من الاختيار.

وقد يسأله شخص ما: هل كنت مضطراً لذهابك إلى هذا الحفل؟ ألم يمارس عليك أي شخص أي نوع من أنواع الضغط الأدبي، كأن أخبرك مثلاً أن المضيف أو الموسيقيين سوف يستاؤون إذا تخلفت عن الحضور؟

ويجيب: «لم يحدث شيء من هذا القبيل، ولم يمارس على أحد أقل ضغط، وإنما أنا مغرم جداً بباخ، وأردت من كل قلبي الذهاب، وهذا هو السبب الحقيقي في ذهابي».

والاختيار الحر لهذا الرجل مطابق بالتأكيد لوجهة نظر لابلاس، حتى ولو كانت المعلومة الكلية عن الكون، سابقة لقراره، فقد جعلتنا نتنبأ أنه سوف يحضر الحفل، ويظل من غير الممكن في هذه الحالة أن يقال إنه حضر الحفل تحت أي اضطرار أو قسر. وإنما يكون قسراً فقط إذا أجبرته عوامل خارجية على فعل شيء ما يتعارض مع رغبته. ولكن إذا كان الفعل نابعاً من ذاته، وفقاً لقوانين علم النفس، فإننا نقول عندئذ أنه قد تصرف بحرية. وعلى الرغم من أن شخصيته قد تشكلت نتيجة لتعليمه، ونتيجة لكل الخبرات التي اكتسبها منذ مولده، إلا أن هذا لا يمنعنا من الحديث عن حرية الاختيار إذا كانت نابعة من شخصيته. وربما يكون هذا الرجل الذي أحب باخ، راغباً أيضاً في أن يتنزه هذا المساء، ولكن رغبته في أن يستمع إلى موسيقى باخ طغت على رغبته في أن يتنزه، ومن ثم فهو قد مارس حرية الاختيار، وهذا هو الجانب السلبي

من المسألة الذي دعانا إلى رفض فكرة أن الحتمية الكلاسيكية لم تقل كلاماً ذا معنى عن حرية الإرادة الإنسانية.

أما الجانب الإيجابي من المسألة فهو هام بنفس الدرجة. فإذا لم يكن لدينا انتظام سببي بحيث نكون في غير حاجة إلى الحتمية بمعناها القوي، لما كان في استطاعتنا أن نمارس حرية اختيار على الإطلاق. لأن الاختيار يتضمن تفصيلاً قسرياً لسير إجراء على آخر. فكف يمكن لاختيار ما أن يتم إذا كان من المستحيل التنبؤ بنتائج سير إجراءات مختلفة؟ إن أبسط الخيارات إنما تعتمد على التنبؤ بنتائج ممكنة. فالماء يُشرب لأنه من المعلوم، وطبقاً لبعض قوانين الفسيولوجيا، إنه يطفىء الظمأ. ولا يمكن معرفة النتائج بالطبع إلا بدرجات مختلفة فقط من الاحتمال. وحتى إذا كان الكون محتماً بالمعنى الكلاسيكي، لظل هذا صحيحاً أيضاً. لأن المعلومة الكافية التي تمكننا من التنبؤ بيقين كامل، غير متاحة لنا على الإطلاق. ويمكن للإنسان المتخيل في صياغة لابلاس أن يجري تنبؤات دقيقة بالطبع، ولكن لا يوجد مثل هذا الإنسان إذن الموقف العملي الذي ينبغي أن نتبناه هو أن معرفة المستقبل معرفة احتمالية، بغض النظر عما إذا كانت الحتمية تسري أو لا تسري بالمعنى القوي. وإننا إذا أردنا أن نقوم بأي نوع من الاختيار الحر، ينبغي أن نكون قادرين على أن نزن النتائج المحتملة للمسارات المختلفة للأفعال، ولن يتم ذلك إذا لم يكن ثمة انتظام كافياً في البنية السببية للعالم. وبدون مثل هذه الانتظامات، لانعدمت المسؤولية الأخلاقية أو القانونية، لأن الشخص الذي لا يستطيع أن يتنبأ بنتائج أفعاله على نحو مؤكد، لا يمكن أن يكون مسؤولاً عن هذه الأفعال. ولأن الوالدين أو المدرس أو القاضي لا يعتبرون الطفل مسؤولاً، إلا في الحالات التي يتمكن فيها الطفل من التنبؤ بنتائج أفعاله. إذن بدون السببية في العالم لأضحى من العبث تعليم الناس أي سلوك أخلاقي أو سياسي، لأن مثل هذه النشاطات لا تكتسب معناها إلا إذا افترض مقداراً معيناً من الانتظام السببي في العالم.

وربما يمكننا أن نلخص وجهات النظر هذه على النحو التالي: للعالم بنية سببية، وليس من المعروف ما إذا كانت هذه البنية حتمية بالمعنى الكلاسيكي، أم أنها حتمية بشكل أقل حدة. وفي كل حالة من الحالات هناك درجة من الانتظام، وهو ضروري لما نطلق عليه اسم الاختيار. فعندما يختار أي شخص، إنما يكون اختياره جزءاً من السلسلة السببية للعالم. فإذا لم يكن هناك قسر بمعنى أن يكون الاختيار قائماً على تفضيله الخاص، أي نابعاً من ذاته الخاصة، إذن لما كان هناك سبب يدعونا إلى ألا نطلق عليه اسم اختيار حر وصحيح أن شخصيته توجب عليه أن يختار ما يفعله ويكون هذا بالتالي مشروطاً بأسباب سابقة، إلا أن هذا يدعونا إلى القول أن شخصيته تضطره أن يختار ما يفعله، لأن الكلمة «يضطر» تعرّف في حدود من العوامل السببية

الخارجية. وقد يكون بالطبع ـ من الناحية النفسية ـ في حالة عقلية غير طبيعية بشكل حاد، أو قـد يقال انه اقترف جريمة لأن طبيعته قد أرغمته على أن يفعل ما فعله، إلا أن الحد «يرغم» هنا قد استعمل ليعني أن حالته الشاذة هي التي منعته من رؤية النتائج المترتبة على مسارات أفعال مختلفة بشكل واضح، أي جعلته غير قادر على التروي في اتخاذ القرار العقلي السليم. وتواجهنا هنا مشكلة خطيرة، ألا وهي وضع حد فاصل بين سبق العزم «Premeditated» والسلوك المريد، والأفعال القسرية الناتجة عن حالات عقلية شاذة. ومهما كان الأمر، فإن الإرادة الحرة هي القرار الذي يتخذه شخص ما، قادر على التنبؤ بنتائج مسارات أفعاله المختلفة، يختار منها ما يفضله. وفي رأيي ليس ثمة تعارض بين حرية الاختيار بهذا المعنى، وبين الحتمية، حتى إذا كانت على النمط الكلاسيكي القوي.

وفي السنوات القليلة الماضية، ارتأى عدد من الكتاب، أن الوثبات الكماتية اللامحتمة، والتي يعتقد معظم الفيزيائيين أنها صدفية «random» بشكل أساسي، يمكن أن تلعب دوراً هاماً في اتخاذ القرار[١] وعلى الرغم من أن هذا صحيح تماماً، إذ أنه تحت شروط ميكروسببية[٢] «Microcause» معينة، مثل الوثبة الكوانتية، نصل إلى ماكرو نتيجة «Macroeffect» ملحوظة. ففي القنبلة الذرية مثلاً، عندما تتحرر أعداد كافية من النيوترونات تحدث التفاعلات نتيجة لسلسلة من ردود الأفعال. ويمكن أن ينطبق هذا أيضاً على التركيب العضوي البشري، بل وبدرجة أكبر من معظم الأنظمة الفيزيائية الجمادية، كأن تكون هناك مواضع معينة داخل التركيب العضوي، بحيث يمكن أن تؤدي وثبة كوانية مفردة إلى ماكرو نتيجة واضحة. على الرغم من هذا كله، إلا أنه ليس من المحتمل أن يكون لهذه المواضع تأثير على القرارات الإنسانية.

تأمل قليلاً كائناً بشرياً لحظة اتخاذه قرار. فإن كان النمط اللاحتمي قد ظهر في هذه اللحظة نتيجة لوثبة كوانتية، إذن لكان القرار المتخذ هنا صدفي بشكل متساو. ولا تساعد هذه الصدفية في تقوية معنى الحد «اختيار حر». بل لا يمكن لمثل هذا الاختيار أن يكون اختياراً على الإطلاق. وإنما هو قرار صدفي اتخذ بشكل اتفاقي وكأنه فعل وقع بين مسارين ممكنين بالتساوي

---

(١) ولقد أثار هنري مارجينو «H. Margenaw» هذه النقطة في منظاراته المفتوحة: الأبعاد الفلسفية المنظورة للعلم الحديث «Philosophical Peropedwies of Modern Science» (نيوهافن) منشورات جامعة بيل ١٩٦١، وأيضاً فيليب فرانك في كتابه «فلسفة العلم» عام ١٩٥٧ الفصل العاشر الفقرة الرابعة ويذكر مقتبسات لعدد من المؤلفين تتناول الجوانب المتعددة لموضوع المناقشة.

(٢) الميكروسببية هي تلك العمليات التي تجري في الموضوعات الميكروفيزيائية أي الموضوعات دون الذرية التي تتكون من جسيمات دقيقة داخل الذرة وتقابلها الموضوعات الماكروفيزيائية التي تنتمي إلى عالمنا الفيزيائي الكبير الذي يمكننا التعامل معه بحواسنا المختلفة. (المترجم).

وهو أمر شبيه بقذف العملة[1].

ولحسن الحظ فإن مدى اللاحتمية في نظرية الكم ضئيل إلى حد بعيد، وإذا كان أكبر من ذلك بكثير لكان من المحتمل أن تنفجر منضدة على حين غرة، أو يتحرك الحجر تلقائياً عند سقوطه ويصعد أفقياً سابحاً في الفضاء. وربما كان في إمكاننا أن نحيا في هذا العالم، ولكن من المؤكد أن ذلك لن يزيدنا إمكانية في حرية الاختيار. أما إذا كان الأمر أكثر صعوبة من ذلك، لكان إجراء مثل هذه الخيارات أصعب بكثير مما يجعل توقع نتائج الأفعال شبه مستحيل. أي إذا سقط حجر، وبدلاً من سقوطه على الأرض كما هو متوقع، دار بشكل حلزوني وخبط رأس شخص ما إذن لكان من الممكن لهذا الشخص أن يعتقد أنه المسؤول عن ذلك، لأنه لم يكن منتبهاً بشكل كاف. ويوضح هذا أنه إذا كان التنبؤ بنتائج الأفعال أكثر صعوبة مما هو عليه الآن لكان احتمال حدوث نتائج مرغوباً فيها، أقل من ذلك بكثير، ولأصبح السلوك الأخلاقي القصدي أكثر صعوبة بما لا يقارن. فإذا انطبق نفس الشيء على العمليات الصدفية التي يمكن أن توجد في الأعضاء البشرية، لامتد هذا التأثير أيضاً على الخيارات، بحيث يضيف إليها عنصراً صدفياً آخر، ويصبح الاختيار هنا أقل مما لو حدث العكس. وفي هذه الحالة لن نعدم من يجادلنا بالاستحالة الكاملة لحرية الإرادة.

وفي رأيي، ليس ثمة اختلاف على المستوى العملي في الحياة اليومية، بين الفيزياء الكلاسيكية بحتميتها الصارمة، وفيزياء الكم الحديثة بتأثيراتها الميكروفيزيائية الصدفية، لأن اللايقين في نظرية الكم، أقل بكثير جداً من اللايقين الناشىء عن محدودية المعرفة في الحياة اليومية. فالإنسان هو الإنسان، سواء اتصف عالمه بالفيزياء الكلاسيكية أو بالفيزياء الحديثة، لأن كلا الوصفين لا يمكن أن يكون له أدنى تأثير على مسألة الاختيار الحر، والسلوك الأخلاقي، ولأن في كلا الحالتين يستطيع الإنسان أن يتنبأ بنتائج أفعاله، ليس بيقين كامل، وإنما بدرجة ما من الاحتمال. أما اللاتحديد الذي تتصف به ميكانيكا الكم فليس له أدنى تأثير على ما يحدث مثلاً لحجر عندما يقذفه أي إنسان لأن الحجر يحتوي على بلايين الجسيمات المعقدة جداً، ومن ثم لا يمكن أن يلعب اللاتحديد هنا أي دور. ولهذا السبب فإنني أعتبر المفهوم الذي يقيم علاقة بين اللاحتمية على المستوى دون الذري، وبين مسألة القرار الحر، مفهوماً مغلوطاً، ومهما كان عدد العلماء وفلاسفة العلم المشايعين له، إلا أنك يمكنك أن تقبل رأيي هذا على اعتبار أنه رأي شخصي.

---

(١) للعملة وجهان إذا قذف بها كان احتمال ظهور أحد الوجهين مساوياً النصف (المترجم).

القسم الخامس: القَوانين النظرية وَالمفَاهِيم النظريَة

الفصل الثَالث وَالعشرون

النظريات وما لا يمكن خضوعه للملاحظة

إن واحداً من أهم التمييزات بين نمطي القوانين في العلم، وهو التمييز بين ما يمكن أن يسمى (ولا توجد مصطلحات فنية مقبولة بصفة عامة لهما)، القوانين التجريبية والقوانين النظرية. أما القوانين التجريبية هي تلك القوانين التي يمكن إثباتها بشكل مباشر، عن طريق الملاحظات التجريبية. وغالباً ما يستخدم المصطلح «يمكنه ملاحظته» «أو يمكن رصده» «Observable»[1] للإشارة إلى أية ظاهرة يمكن رصدها بشكل مباشر، ولذلك يمكن أن يقال إن القوانين التجريبية هي تلك القوانين التي تدور حول مرصودات.

وينبغي التنبيه هنا إلى أن لكل من الفلاسفة والعلماء طرقاً مختلفة تماماً لاستخدام مصطلحي «ما يمكن رصده» و«ما لا يمكن رصده». فبالنسبة للفيلسوف يكون للمصطلح «ما يمكن رصده» معنى ضيق جداً، فهو ينطبق على خواص مثل «أزرق» و «صلب» و «حار»، وهذه الخواص تُدرك بشكل مباشر عن طريق الحواس. أما بالنسبة للفيزيائي فإن للمصطلح معنى أوسع بكثير، فهو يشير إلى أي مقدار كمي يمكن قياسه بطريقة مباشرة، وبسيطة نسبياً. وقد لا يهتم الفيلسوف بدرجة حرارة الشيء الملاحظ، التي ربما كانت ٨٠ درجة مئوية، أو بوزنه الذري ربما كان ٩٣ $\frac{1}{2}$ رطلاً لأنه ليس ثمة تصور حسي مباشر لمثل هذه المقادير. أما الفيزيائي فيمكنه ملاحظة هذين المقدارين، لأنه يستطيع «قياسهما بطرق بسيطة للغاية»، كأن يضع الشيء المراد وزنه على ميزان، أو قياس درجة حرارة الشيء المراد قياسه بترمومتر. بيد أن الفيزيائي لا يمكنه أن

(١) سوف نترجم هذا المصطلح بالكلمات: يمكن ملاحظته، أو يخضع للملاحظة أو يمكن رصده أو مرصود بمعنى واحد وذلك حسب ورودها في الجملة بما يحفظ سلاسة اللغة.

يدعي إمكانية رصد كتلة جسيم، هذا إذا ما تجاوزنا عن ذكر كتلة اليكترون، لأن إجراءات القياس هنا تكون شديدة التعقيد وغير مباشرة على الإطلاق. أما المقادير التي يمكن تحديدها بواسطة إجراءات بسيطة نسبياً ـ كالطول مثلاً بمسطرة، أو الزمن بساعة، أو تردد الموجات الضوئية بمقياس الطيف ـ فهي التي يطلق عليها اسم «مرصودات».

وقد يعترض الفيلسوف قائلاً أن ما تم رصده في الحقيقة ـ في الحالة الأخيرة ـ ليس شدة التيار الإلكتروني، وإنما فقط مؤشر الموضع، فعند تلامس أميتر[1] بدائرة كهربية، فإن ما يلاحظ هو مؤشر الموضع الذي قذد يتجه إلى الرقم «٣ ر ٥» ومن ثم فإن ما تمّ رصده في الحقيقة ليس شدة التيار، وإنما تم الاستدلال عليه فقط مما هو ملاحظ.

وقد يرد الفيزيائي على ذلك، بأن هذا صحيح إلى حد ما، ولكن الاستدلال هنا لم يكن استدلالاً شديد التعقيد، وإنما إجراء القياس فيه كان بسيطاً للغاية، بحيث لم يعد يداخلنا أدنى شك في أن الاميتر قد أعطانا مقياساً دقيقاً للغاية عن شدة التيار، ولهذا السبب يمكن إدراجه ضمن ما يسمى المرصودات.

وليست المسألة هنا هي من الذي يستخدم المصطلح «ما يمكن رصده» بطريقة صحيحة أو مناسبة، ولكن المسألة هي أن هناك استمرارية، تبدأ من ملاحظات حسية مباشرة، وتتقدم إلى ما هو أعقد منها بشكل كبير، أي إلى طرق ملاحظة غير مباشرة. ومن الواضح أنه ليس ثمة خط فاصل يمكن رسمه عبر هذه الاستمرارية، لأن المسألة هنا مسألة درجة. فعندما يتأكد فيلسوف ما أن صوت زوجته صادر من غرفة مجاورة، فإنه يسلم أن هذا الصوت يمكن رصده. ولكن افترض أنه ينصت إليها وهي تتحدث في الهاتف. فهل يمكن رصد هذا الصوت أم لا؟ وقد يؤكد لنا فيزيائي أنه عندما ينظر إلى شيء من خلال ميكروسكوب عادي، فإنه يقوم برصده بشكل مباشر. فهل ينطبق نفس الشيء عندما ينظر إليه من خلال ميكروسكوب الكتروني؟ وهل يمكنه رصد مسار جسيم في غرفة مظلمة؟ على أية حال إن الفيزيائي يتحدث بصفة عامة، عن المرصودات بمعنى واسع جداً، بالمقارنة مع نظيره الفيلسوف. ولكن في الحالتين، يظل الحد الفاصل بين ما يمكن رصده وما لا يمكن رصده عالياً للغاية. ويستحسن أن نحتفظ بهذا التمييز في عقلنا، لكي نتمكن من معرفة المقصود بهذين المصطلحين عند مطالعتنا كتاباً ألفه فيلسوف أو عالم.

إذن القوانين التجريبية هي، في اصطلاحي، تلك القوانين التي تشتمل إما على أشياء

---

(١) الاميتر هو أداة قياس شدة التيار الكهربائي بالأمبير. (المترجم).

يمكن رصدها بشكل مباشر عن طريق الحواس، أو هي تلك التي يمكن قياسها بوسائل تقنية بسيطة نسبياً. ويطلق أحياناً على مثل هذه القوانين اسم، تعميمات تجريبية، لأنها تبدأ من ملاحظات وقياسات وتنتهي إلى تعميم النتائج. وهي لا تشتمل فقط على القوانين الكمية البسيطة (مثل «كل الغربان سوداء» وإنما أيضاً على قوانين كمية نتجت عن قياسات بسيطة كالقوانين المتعلقة بضغط وحجم ودرجة حرارة الغازات، وأيضاً قانون أوم «Ohms Law» الخاص بفروق الجهد الكهربي، والمقاومة، وشدة التيار، فهو مثال مألوف آخر على ذلك. يجري العالم ببساطة، قياسات متكررة، فإن وجد انتظامات معينة، عبّر عن ذلك في قانون، وهذه هي القوانين التجريبية. وكما هو موضح في فصول سابقة، تستخدم هذه القوانين لتفسير وقائع ملاحظة، وللتنبؤ بحوادث يمكن ملاحظتها في المستقبل.

أما النوع الثاني من القوانين، وهي تلك التي أطلقت عليها اسم القوانين النظرية، لا يوجد مصطلح مقبول بشكل عام لها، فهي في بعض الأحيان تسمى قوانين مجردة أو افتراضية «Abstract or Hypothetical Laws». وأعتقد أن الاصطلاح «افتراضي» غير مناسب، لأنه قد يوحي بأن التمييز بين نمطي القوانين يعتمد على الدرجة التي تم بها إثبات هذه القوانين. بيد أن القانون التجريبي ذاته، ما هو إلا افتراض غير نهائي تم إثباته فقط بدرجة منخفضة، ومع ذلك يظل قانوناً تجريبياً. إذن لا ينبغي التمييز بين قانون نظري وآخر تجريبي بدعوى أن الأول غير مؤسس جيداً، ولكن على أساس أنه يشتمل حدوداً من نوع مختلف، أي على حدود لا تشير إلى مرصودات، حتى ولو تبنى الفيزيائي المعنى الواسع الذي يشتمل على ما يمكن رصده. فهي قوانين تتعلق بكيانات معينة كالجزئيات، والذرات، والإلكترونيات، والبروتونات، والمجالات الكهرومغناطيسية، وأشياء أخرى لا يمكن قياسها بوسائل بسيطة ومباشرة.

فإذا كان ثمة مجال سكوني (استاتيكي) لابعاد واسعة، بحيث لا يتغير من نقطة إلى أخرى، إذن لأطلق عليه الفيزيائي اسم المجال المرصود، وذلك لإمكانية قياسه بأدوات بسيطة، أما إذا كان المجال يتغير من نقطة إلى أخرى، في مسافات صغيرة جداً، أو بسرعات عالية جداً في الزمن، كأن يتغير بلايين المرات كل ثانية، وبحيث لا يمكن قياسه بشكل مباشر، وبوسائل تقنية بسيطة، فلا يمكن عندئذ أن يطلق عليه الفيزيائي اسم المرصود. ويميز الفيزيائي أحياناً بين المرصود وغير المرصود بهذه الطريقة: إذا ظل المقدار على ما هو عليه في المسافات أو الفواصل الزمنية الكبيرة بشكل كاف، بحيث يمكن قياسه بأدوات مباشرة، إذن لأطلقنا على هذا المقدار اسم «الحادث الأكبر» «Macroevent»، أما إذا تغير المقدار في فواصل مكانية أو زمانية شديدة الصغر، بحيث لا يمكن قياسه بأدوات بسيطة، لكان ذلك هو «الحادث الأصغر» «Microevent» (وكان المؤلفون السابقون يستخدمون المصطلحين «ما يرى بالعين المجردة» «Macroscopic»

و«ما لا يرى بالعين المجردة» «Microscopic». أما اليوم فإن العديد من المؤلفين يختصرون المصطلحات إلى الأكبر «Macro» و «الأصغر» «Micro».

إذن العملية الصغرى «Microprocess»، هي تلك العملية التي تشتمل ببساطة على فواصل شديدة الصغر في المكان والزمان، ومن ثم تكون ذبذبة موجة كهرومغناطيسية لضوء يمكن رؤيته مثلاً، عملية صغرى، لأنه لا وجود لآلة قياس تمكننا من معرفة كيف تتغير شدتها. ويتوازى أحياناً التمييز بين المفاهيم الكبرى والصغرى «Macro and Microconcepts» مع المرصود وغير المرصود. ولا يتطابقان تماماً، وإنما يتوازيان على وجه التقريب. إذن تختص القوانين النظرية بالأشياء التي لا يمكن رصدها، وغالباً ما تكون هذه الأشياء عمليات صغرى، ومن ثم يطلق على هذه القوانين اسم القوانين الصغرى «Microlaws». بيد أنني أستخدم المصطلح «قوانين نظرية» بمعنى أوسع من ذلك، فأضمنها جميع القوانين التي تشتمل على ما لا يمكن رصده بغض النظر عما إذا كانت مفاهيم صغرى أو كبرى.

صحيح أن مفهومي «ما يمكن رصده» وما لا يمكن رصده ـ كما أوضحنا من قبل ـ لا يمكن تعريفهما بدقة، لأنهما يتوقفان على كمية أو سلسلة متصلة، إلا أنه في نطاق الخبرة العملية يتضح التمايز الكبير بينهما. فقد يتفق مثلاً الفيزيائيون جميعاً على أن القوانين المتعلقة بضغط وحجم ودرجة حرارة غاز معين، إنما هي قوانين تجريبية، إلا أن الكمية الكبيرة للغاز، تجعل المقادير الخاضعة للقياس ثابتة، كما أن الحجم الذي يشغل حيزاً كبيراً من المكان، والفترة الطويلة التي تنقضي من الزمن، يسمحان بجعل القياس مباشراً. ويمكننا عندئذ أن نعمم هذه القياسات ونجعل منها قوانين. وقد تيفق جميع العلماء أيضاً على أن القوانين التي تتعلق بسلوك الجزيئات الفردية، إنما هي قوانين نظرية، لأن مثل هذه القوانين تختص بعملية صغرى، بحيث لا يمكن للتعميمات فيها أن تؤسس على قياسات بسيطة ومباشرة.

وبالطبع، القوانين النظرية أكثر عمومية من القوانين التجريبية. وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي أن ندرك أن التوصل إلى قوانين نظرية لا يتم بسهولة، كأن نضع مثلاً بضع قوانين تجريبية معاً، ثم نقوم بتعميمها عن طريق خطوات قليلة أبعد. أو نقول بكلمات أخرى أن العالم يتوصل إلى قانون تجريبي بعد أن لاحظ حوادث معينة في الطبيعة، ثم اكتشف انتظاماً معيناً بينها، ووصف هذا الانتظام عن طريق إجراء تعميم استقرائي. ثم نفترض أنه تمكن من وضع مجموعة من القوانين التجريبية معاً، بعد أن لاحظ ارتباطاً ما بنيها وأجرى تعميماً استقرائياً أوسع، ثم توصل أخيراً إلى قانون نظري. ليس هذا ما نعنيه على الإطلاق.

ولكي نوضح هذا أكثر، أفترض أننا لاحظنا تمدداً في قضيب حديد معين عند تسخينه، ثم

كررنا التجربة عدة مرات، وتوصلنا في كل مرة إلى نفس النتيجة، فإننا نقوم حينئذ بتعميم ما لاحظناه بقولنا ان هذا القضيب يتمدد عند تسخينه. وبهذا نكون قد توصلنا إلى قانون تجريبي حتى على الرغم من مجاله الضيق الذي ينطبق فقط على قضيب حديد واحد. ولكن إذا أجرينا عدة تجارب على أجسام أخرى من الحديد، وتوصلنا إلى اكتشاف مؤداه أنه في كل مرة يتم فيها تسخين أجسام الحديد، فإنها تتمدد، نكون بهذا قد توصلنا إلى صياغة قانون أكثر عمومية. أعني كل الحديد يتمدد بالتسخين، ويمكننا بنفس الطريقة أن نتوصل إلى قوانين أكثر عمومية مثل «كل المعادن. . .» ثم «كل الأجسام الصلبة. . .» ومن ثم فإننا بدأنا من تعميمات بسيطة ثم صعدنا إلى ما هو أكثر عمومية مما سبقتها فأكثر. . .، ولكنها جميعاً قوانين تجريبية، لماذا؟ لأننا في كل حالة منها قد تعاملنا مع موضوعات قابلة للملاحظة (الحديد، النحاس، المعدن، الأجسام الصلبة)، أما الزيادة في درجة الحرارة، وطول كل حالة من هذه الحالات، فإنه يمكن قياسها بوسائل تقنية بسيطة ومباشرة.

أما القانون النظري فهو على العكس من ذلك يتعلق بتلك العملية التي يمكن لها أن تعزى إلى سلوك الجزئيات في قضيب الحديد. بأية طريقة تسلك الجزئيات المرتبطة بتمدد القضيب عند تسخينه؟ ولعلك تكتشف في الحال أننا نتحدث عما لا يمكن رصده وينبغي عندئذ أن نستعين بنظرية ـ النظرية الذرية للمادة ـ وبسرعة نجد أنفسنا منغمسين في قوانين ذرية تستخدم مفاهيماً مختلفة تماماً عما كنا نستخدمها من قبل. والحقيقة أن هذه المفاهيم النظرية تختلف عن مفاهيم الطول ودرجة الحرارة في الطريقة والدرجة التي يتم بهما رصد الظاهرة، وما إذا كان ذلك بشكل مباشر أم لا. والحقيقة أيضاً أن الاختلاف بينهما كبير إلى الدرجة التي لم يعد هناك جدال حول الاختلاف الجذري بين طبيعة القوانين التي ينبغي أن تصاغ في كل منهما.

ويمكن أن تتعلق القوانين النظرية بالقوانين التجريبية بطريقة تماثل إلى حد ما الطريقة التي تتعلق بها القوانين التجريبية مع الوقائع الجزئية. إذ ان القانون التجريبي يساعدنا على تفسير واقعة خضعت للملاحظة من قبل، كما أنه يساعدنا على التنبؤ بواقعة لم تلحظ بعد. وبطريقة مماثلة، يساعدنا القانون النظري على تفسير قوانين تجريبية صيغت من قبل، كما أنه يسمح لنا باشتقاق قوانين تجريبية جديدة، تماماً كما يحدث مع الوقائع الجزئية المتفرقة التي يلاحظ أنها تحدث بشكل منتظم ثم يجري تعميمها على شكل قانون تجريبي. وتعترضنا هنا واحدة من المشكلات الرئيسية في مناهج العلوم، ألا وهي، كيف يمكننا أن نحصل على نوع المعرفة التي سوف نبرر بها تقريرنا لقانون نظري. ربما يمكننا تبرير قانون تجريبي عن طريق إجراء ملاحظات لوقائع جزئية؛ ولكن عند تبريرنا قانوناً نظرياً لا يمكننا أن نجري ملاحظات قابلة للمقارنة، لأن الكيانات

المستدل عليها في القوانين النظرية لا تخضع للملاحظة.

وقبل الانشغال بهذه المشكلة، يجدر بنا أن نشير إلى بعض الملاحظات التي سبق أن ذكرناها في فصل سابق، والتي تتعلق باستخدام كلمة «واقعة» «Fact». يهمنا جداً في هذا السياق أن نركز اهتمامنا إلى حد كبير، على استخدام هذه الكلمة، لأن هناك بعض المؤلفين، وبخاصة العلماء، يستخدمون كلمة «واقعة» أو «واقعة تجريبية» للإشارة إلى بعض القضايا التي أطلق عليها اسم، قوانين تجريبية. فعلى سبيل المثال نجد أن بعض العلماء يشيرون إلى «الواقعة» بأنها الحرارة النوعية للنحاس والتي تساوي ٠٩٠ ر، وأنا أعتبر هذا قانوناً، لأنه مصاغ صياغة كاملة، ويأخذ صورة القضية الشرطية الكلية التالية: «بالنسبة لأي م، وأي زمن ت، إذا كانت م جسماً نحاسياً صلباً، إذن لكانت الحرارة النوعية لـ م في الزمن ت، تساوي ٠٩٠ ر». ويطيب لبعض الفيزيائيين الحديث عن قانون التمدد الحراري، أو قانون أوم، أو قوانين أخرى بوصفها وقائع، وعندئذ يمكنهم بالطبع أن يقولوا أن القوانين النظرية تساعد على تفسير مثل هذه الوقائع. وهذا شبيه بعبارتي التي أقرر فيها أن القوانين التجريبية تفسر الوقائع، ولكن كلمة «واقعة» هنا تستخدم بطريقتين مختلفتين. إنني أحصر الكلمة في الوقائع العيانية الجزئية التي يمكن تعيينها زمكانياً، وليس في التمدد الحراري بصفة عامة، وإنما التمدد في هذا القضيب الحديدي الذي كان ماثلاً أمامي هذا الصباح، وكانت الساعة تشير إلى العاشرة عندما قمت بتسخينه. ومن الأهمية بمكان أن نضع نصب أعيننا الطريقة المحددة التي نتحدث بها عن الوقائع، لأننا إذا استخدمنا كلمة «واقعة» بطريقة غامضة، لكان الاختلاف الهام بين القوانين التجريبية والنظرية غير واضح المعالم تماماً.

كيف يمكننا إذن اكتشاف القوانين النظرية؟ لا يمكننا بالطبع أن نقول: «دعنا نجمع معطيات أكثر فأكثر وعندئذ نقوم بتعميم القوانين التجريبية، فنصل إلى قوانين نظرية» لأنه ليس ثمة قانون نظري على الإطلاق تمت صياغته بمثل هذه الطريقة. وإنما نحن نلاحظ الأحجار والأشجار والأزهار، وندوّن انتظامات معينة ثم نصف هذه الانتظامات عن طريق القوانين التجريبية. أما فيما يتعلق بالجزيئات فلا يهمنا الوقت الذي نستغرقه في ملاحظتها أو العناية التي نوليها لهذه الملاحظة، لأننا لن نصل أبداً إلى المرحلة التي نستطيع فيها رصد «جزيء» ولهذا السبب لا يمكن لأي عدد من التعميمات التي تقوم على الملاحظات، أن تقدم لنا نظرية عن العمليات الجزيئية، وإنما ينبغي لمثل هذه النظرية أن تقوم بطريقة أخرى. إنها تقوم ليس بوصفها تعميماً لوقائع، وإنما بوصفها فرضاً علمياً. ويمكننا عندئذ أن نختبر هذا الفرض بطريقة مماثلة إلى حد ما لطريقة اختبار القانون التجريبي. إذ اننا من هذا الفرض نشتق قوانين تجريبية معينة، ثم

نختبر هذه القوانين التجريبية بالتالي، عن طريق ملاحظة الوقائع. وربما كانت القوانين التجريبية المشتقة من القوانين النظرية معروفة مسبقاً وتم اختبارها جيداً (كما يمكن لهذه القوانين أن تولّد فينا باعثاً على صياغة القانون النظري)، وبغض النظر عما إذا كانت القوانين التجريبية المشتقة معروفة ومقررة من قبل، أو ما إذا كانت جديدة وتم إقرارها عن طريق ملاحظات جديدة، فإن تقرير مثل هذه القوانين المشتقة، يزوّد القانون النظري بتقرير غير مباشر.

والنقطة التي أود توضيحها هنا، هي أن العالم لا يبدأ من قانون تجريبي واحد، وليكن قانون بويل للغازات، ثم يبحث عن نظرية للجزيئات يشتق منها هذا القانون، وإنما يحاول أن يصوغ نظرية أكثر عمومية بكثير مما يمكن اشتقاقه من مختلف القوانين التجريبية. إن هذه القوانين الأكثر تنوعاً ووضوحاً تفتقر إلى الارتباط بين الواحدة منها والأخرى، أما النظرية الأكثر قوة فهي التي تقوم بتفسيرها. وقد تكون بعض هذه القوانين معروفة من قبل ولكن ينبغي للنظرية أيضاً أن تجعل من الممكن اشتقاق قوانين تجريبية أخرى يمكن تقريرها عن طريق اختبارات جديدة. وإذا كان الأمر كذلك، لا يمكننا أن نقرر أن النظرية تجعل من الممكن التنبؤ بقوانين تجريبية جديدة. ويفهم التنبؤ بطريقة افتراضية. فإذا انعقدت نظرية تنعقد أيضاً قوانين تجريبية معينة. فالقانون التجريبي المتنبأ به يتحدث عن علاقات بين مرصودات، ومن ثم فهو يمكننا من أن نجري تجارب لنرى ما إذا كان هذا القانون ينعقد أم لا، فإذا انعقد كان مقرراً، وأصبح في إمكانه أن يمد النظرية بتقرير غير مباشر. إذ ان كل تقرير أو إثبات لقانون تجريبي أو حتى نظري، إنما هو تقرير جزئي فقط، ولا يمكن بأية حال أن يكون كاملاً أو مطلقاً على الإطلاق. ولكن في حالة القوانين التجريبية فإن التقرير يكون أكثر مباشرة، أما في حالة القانون النظري فإنه يكون غير مباشر، لأنه يحدث فقط من خلال تقرير قوانين تجريبية مشتقة من النظرية.

وتنحصر قيمة أي نظرية جديدة في قدرتها على التنبؤ بقوانين تجريبية جديدة. وصحيح أيضاً أن قيمتها تكون في تفسير قوانين تجريبية معروفة من قبل، ولكن هذه القيمة ثانوية وليست أساسية. فإذا اقترح عالم ما نسقاً نظرياً جديداً، ولم يكن من الممكن أن نشتق منه قوانين جديدة، فإن هذا يكافىء منطقياً مجموعة من القوانين التجريبية المعروفة، بحيث يجعل النظرية تتصف بانسجام معين، يمكنها من تبسيط مجموعة من القوانين التجريبية المعروفة. بيد أن من المستبعد أن يكون هذا التبسيط جوهرياً. ومن ناحية أخرى، كل نظرية جديدة في الفيزياء تمكننا من اشتقاق قوانين تجريبية جديدة، لا بد أن تؤدي إلى وثبة إلى الأمام. فإذا اقتصر آينشتين على نظريته في النسبية على اعتبار أنها نظرية جديدة منسجمة، تضم مجموعة من القوانين المعروفة وتجعلها أكثر تبسيطاً إلى حد ما، لما كان لنظريته مثل هذا التأثير الثوري.

ولأنها على العكس من ذلك تماماً سمحت باشتقاق قوانين تجريبية جديدة، وفسرت منذ الوهلة الأولى عدة ظواهر مثل حركة الكوكب عطارد، وأقرب نقطة له للشمس، وأيضاً ميل الأشعة الضوئية المجاورة للشمس، كان لها هذا التأثير. إذ أوضحت هذه التنبؤات أن نظرية النسبية كانت أكثر من مجرد طريقة جديدة للتعبير عن قوانين قديمة. ومن ثم فقد كانت في الحقيقة نظرية ذات قدرة تنبؤية عالية، وترتبت عليها نتائج بعيدة الأثر. ولم يكن من الممكن اشتقاق هذه النتائج من نظريات أقدم.

وعادة ما تكون نظرية بمثل هذه القوة، متناسقة، وذات تأثير موحد للقوانين المعروفة، فهي أبسط من مجرد تجميع كلي لقوانين معروفة. ومن ثم فإن القيمة العظمى للنظرية تكمن في قوتها على اقتراح قوانين جديدة يمكن تقريرها (إثباتها) بوسائل تجريبية.

الفصل الرابع وَالعشرون

قواعد المطَابقة

يجدر بنا أن نضيف تعديلاً هاماً للمناقشة التي عقدناها في الفصل السابق حول القوانين النظرية والحدود المفترضة. إذ ان التقرير بأن القوانين التجريبية تشتق من قوانين نظرية إنما هو تبسيط شديد. لأنه ليس من الممكن اشتقاقها بشكل، مباشر نظراً لأن أي قانون نظري إنما يحتوي على حدود نظرية، في حين ان أي قانون تجريبي يحتوي على حدود يمكن اخضاعها للملاحظة فقط. وهذا يمنع أي استنباط مباشر لقانون تجريبي من قانون نظري.

ولكي نفهم هذا جيداً، تخيل أننا نعود إلى القرن التاسع عشر، متأهبين منذ الوهلة الأولى أن نذكر بعض القواني النظرية المتعلقة بجزيئات في غاز. تصف هذه القوانين عدد جزيئات كل وحدة حجم من الغاز والسرعات الجزيئية وهكذا. ولكي نبسط المسائل أكثر، دعنا نفترض أن لجميع الجزيئات نفس السرعة (كان هذا في الواقع هو الافتراض الأصلي، إلا أنه تم الاستغناء عنه أخيراً لصالح توزيع السرعات طبقاً لاحتمال معين). وبالإضافة إلى ذلك، نضع افتراضات حول ما يحدث عندما تتصادم الجزيئات إننا لا نعرف الشكل الدقيق للجزيئات، ولذلك دعنا نفترض أنها أجسام كروية شديدة الصغر. كيف تتصادم الكرات؟ هناك قوانين عن تصادم الكرات، لكنها تختص بالأجسام الضخمة، ولأننا لن نتمكن من رصد الجزيئات بشكل مباشر، فإننا نفترض تصادماتها بطريقة مماثلة لما يحدث للأجسام الكبيرة، فقد تسلك ككرات بليارد بالغة حد الكمال على.منضدة غير احتكاكية[1] وهناك بالطبع افتراضات فقط، وتخمينات مقترحة عن طريق مماثلتها بقوانين معروفة تختص بالأجسام الضخمة.

---

(١) ويقصد كارناب أن تكون الكرات دقيقة الاستدارة، والمنضدة ملساء حتى لا يؤثر غير ذلك على حركاتها. (المترجم).

ولكن تواجهنا الآن مشكلة صعبة، ألا وهي أن قوانينا النظرية تتعامل بصفة خاصة مع سلوك جزيئات لا يمكن رؤيتها، ومن ثم كيف نستنبط من مثل هذه القوانين، قانوناً عن خواص يمكن ملاحظتها، مثل ضغط أو حرارة غاز، أو خواص موجات صوتية تمر من خلال غاز؟ إن القوانين النظرية تشتمل فقط على حدود نظرية، وما نبحث عنه هو قوانين تجريبية مشتملة على حدود يمكن رصدها، ومن الواضح أن مثل هذه القوانين لا يمكن اشتقاقها دون أن يكون لها شيء آخر معطى بالإضافة إلى القوانين النظرية.

أما هذا الشيء الآخر الذي ينبغي أن يعطى إنما هو: مجموعة من القواعد تربط الحدود النظرية بالحدود التي يمكن رصدها. ولقد اعترف الفيزيائيون وفلاسفة العلم بالحاجة الماسة لمثل هذه المجموعة من القواعد، وناقشوا طبيعتها في الغالب الأعم. وإليك مثالاً لقاعدة من هذا النوع: «إذا كان ثمة ذبذبة الكترومغناطيسية لتكرار معين، إذن لكان ثمة لون أزرق ـ مخضر يمكن رؤيته بشكل متدرج. «وهنا نجد شيئاً ما يمكن رصده مرتبطاً بعملية ميكروسكوبية لا تخضع للملاحظة».

وإليك مثالاً آخر: «تتناسب درجة حرارة غاز (وهذه الدرجة قيست بترمومتر، ومن ثم يمكن رصدها، بالمعنى الأوسع الذي سبق شرحه) مع متوسط الطاقة الحركية لجزيئاتها» وهذه القاعدة تربط ما لا يمكن رصده في النظرية الجزيئية، ألا وهو الطاقة الحركية للجزيئات، مع ما يمكن رصده ألا وهو درجة حرارة الغاز. فإذا لم يكن لدينا هذا النوع من التقريرات، لما كانت لدينا وسيلة لاشتقاق قوانين تجريبية عن مرصودات من قوانين نظرية عن لامرصودات.

ولقد وضع العديد من المؤلفين مسميات مختلفة لهذه القواعد، فأنا أدعوها «قواعد المطابقة» ويدعوها ب. و. بردجمان «P.W.Bridgman» «قواعد إجرائية» أما نورمان ل. كامبل «Nor - mam L.Campbell» فيتحدث عنها بوصفها «القاموس»[1] لأن قواعد تربط حداً في مصطلح بحد في مصطلح آخر، كما أن استخدام القواعد يكون شبيهاً باستخدام قاموس فرنسي ـ إنكليزي. فإذا أردت أن تعرف معنى الكلمة الفرنسية «Cheval» فإنك تبحث عنها في القاموس وتجد أنها تعني «حصان» «Horse» وعلى الرغم من أن الأمر ليس بمثل هذه البساطة عندما يتعلق باستخدام مجموعة من القواعد لربط لا مرصودات بمرصودات، إلا أنه شبيه بذلك، مما يجعل

---

(١) انظر بيرسي و. بردجمان منطق الفيزياء الحديثة (نيويورك: ماكميلان، ١٩٢٧). وأيضاً نورمان ل. كامبل «الفيزياء» العناصر (كمبردج. منشورات جامعة كمبردج ١٩٢٠) كما ناقش أرنست ناجل قواعد المطابقة في كتابه «بنية العلم» (نيويورك، ١٩٦١) (ص ص ٩٧ ـ ١٠٥).

«قاموس» كامبل ضمن الأسماء المقترحة لمجموعة القواعد.

ومن حين لآخر يراودنا التفكير في تزويد مجموعة القواعد بوسائل لتعريف الحدود النظرية في حين أن العكس تماماً هو الصحيح. إذ ان الحد النظري لا يمكن تعريفه أبداً على نحو واضح عن طريق حدود خاضعة للملاحظة، في حين يمكن تعريف ما يخضع للملاحظة في حدود نظرية. فإننا نعرّف الحديد مثلاً بوصفه عنصراً يحتوي على أجزاء بللورية صغيرة للذات فيها ترتيب معين، ولكل ذرة وضع نسبي لجسيمات نموذج معين. إذن من الممكن أن نعبر، في حدود نظرية، عما يعنيه الحد المرصود «حديد» ولكن العكس غير صحيح.

ومن ثم لا نجد إجابة شافية على السؤال: «ما هو الاليكترون على وجه التحديد»؟ إلا أننا سوف نعود إلى هذا السؤال فيما بعد، لأنه يعد من الأسئلة التي يوجهها دائماً الفلاسفة للعلماء. وهم يطلبون من الفيزيائي أن يخبرهم عما يعنيه تماماً من «الكهربية» و «المغناطيسية» و «الجاذبية» و «الجزيء»، فإذا شرحها الفيزيائي في حدود نظرية، لربما خاب أمل الفيلسوف، وقد يبتدره بقوله «إنني لا أعني هذا على الإطلاق، وإنما أريدك أن تخبرني في لغة عادية ما تعنيه تلك الحدود؟ وفي بعض الأحيان يؤلف الفيلسوف كتاباً يتحدث فيه عن الأسرار الكبرى للطبيعة، ويصرح قائلاً «لم يتمكن أحد حتى الآن، وربما لن يتمكن أحد على الإطلاق من أن يقدم لنا إجابة شافية على السؤال «ما الكهرباء؟ ومن ثم تظل الكهرباء واحدة من الأسرار الكبرى للعالم، والتي يستحيل سبر غورها إلى الأبد».

والحقيقة أنه ليس ثمة سر هنا، وإنما توجد فقط مسألة تم التعبير عنها بشكل موجز غير مناسب. ولا ينبغي أن نطلب تعريفات في طبيعة الحالة، نعجز عن الإتيان بها. فإذا كان ثمة طفل لا يعرف ما هو الفيل، وطلب منا تعريفه، لأمكننا أن نخبره بأنه حيوان ضخم له أذنان كبيرتان وخرطوم كبير، كما يمكننا أن نطلعه على صورة لفيل تساعد على تعريفه في حدود يمكن رصدها بحيث يتمكن الطفل من أن يفهم. ونميل إلى الاعتقاد بأن العالم ينبغي أن يكون قادراً على أن يعرّف الحدود النظرية. بطريقة مماثلة. ولكن هذا غير ممكن، لأنه ليس ثمة وسيلة يمكن للعالم بها أن يطلعنا على صورة للكهرباء بنفس الطريقة التي نطلع بها صورة فيل على طفل. بيد أن الخلية العضوية، برغم أنها لا ترى بالعين المجردة، إلا أنه يمكن تمثلها عن طريق صورة، وذلك لأننا نراها عند النظر إليها من خلال ميكروسكوب. أما عندما يتعلق الأمر بإليكترون، فلا يمكننا أن نحصل على صورة له، ومن ثم لا نستطيع أن نقول كيف يبدو أو كيف يحس، لأنه ببساطة لا يُرى ولا يُلمس. وأفضل ما يمكننا فعله هو أن نقول أنه جسم شديد الصغر يسلك

بطريقة معينة، ويبدو أن هذا يماثل وصفنا لفيل، فقد نصف الفيل بأنه حيوان ضخم يسلك بطريقة معينة، فلماذا لا نفعل نفس الشيء مع اليكترون؟ الإجابة هي أن الفيزيائي لا يمكنه أن يصف سلوك اليكترون إلا بذكر قوانين نظرية، ولا تشتمل هذه القوانين إلا على حدود نظرية، فهي تصف المجال المنتج بواسطة إليكترون، وردُّ فعل اليكترون في مجال، وهكذا. فإذا كان إليكترون في مجال كهربي ثابتاً فإن سرعته سوف تتسارع بطريقة معينة. ولسوء الحظ لا يخضع تسارع الاليكترون للملاحظة، فهو لا يشبه تسارع كرة بليارد، ذلك الذي يمكن أن ندرسه بالملاحظة المباشرة، ومن ثم فإننا نعدم الوسيلة التي نعرّف بها مفهوماً نظرياً في حدود تنتمي إلى مرصودات. ولذلك ينبغي أن نقنع أنفسنا بحقيقة أنه لا يمكن صياغة تعريفات من هذا النوع.

وصحيح أن بعض المؤلفين، ومنهم بريدجمان، تحدثوا عن القواعد بوصفها «تعريفات إجرائية» إلا أن بريدجمان كانت له تبريرات معينة، فقد استخدم قواعده بطريقة تختلف بعض الشيء عن استخدام معظم الفيزيائيين. ولا شك أنه كان فيزيائياً عظيماً، وبالتأكيد كان حذراً من الانحراف المعتاد في استخدام القواعد، إلا أنه كان يرغب في قبول اشكال معينة للحديث، غير مألوفة، وهذا بالتحديد ما يفسر انحرافه. ولقد أشرنا في فصل سابق إلى أن بريدجمان فضل أن يقول انه ليس ثمة مفهوم واحد كامل لشدة التيار الكهربي، وإنما هناك عدة مفاهيم، وأن أي إجراء يمكننا من قياس المقدار الضخم، يمدنا بتعريف إجرائي لذلك المقدار، ذلك لأن ثمة إجراءات ومفاهيم مختلفة لقياس التيار. ولكن لمتطلبات اصطلاحية يتحدث الفيزيائي عن مفهوم واحد كامل للتيار. ومن أجل أن يكون الحديث أكثر دقة، اعتقد بريدجمان أنه ينبغي عليه أن يتعرف على مفاهيم مختلفة متعددة، يعرّف كل منها بإجراء عملي مختلف للقياس.

ونواجه ها هنا بعملية اختيار بين لغتين فيزيائيتين مختلفتين. فإذا اتبعنا الإجراء المألوف بين الفيزيائيين، لوضعنا المفهوم الواحد للتيار محل المفاهيم المتعددة. وأياً ما كان الأمر، فإن هذا يعني أننا نستخدم المفهوم في القوانين النظرية، لأن القواعد الإجرائية إنما هي قواعد مطابقة تماماً، كما أطلق عليها، وهي تلك التي تربط الحدود النظرية بالحدود التجريبية. ومن ثم فإن أي دعوى بأن يكون لدينا تعريف لمفهوم نظري ـ الذي هو في الحقيقة تعريف إجرائي ـ ينبغي أن تتوقف. والمبرر الوحيد الذي جعل بريدجمان يتحدث عن التعريفات الإجرائية هو أنه كان يتحدث عن مفاهيم جزئية، وليس عن مفهوم عام، ويتم تعريف كل منها عن طريق إجراء تجريبي مختلف. وحتى إذا كان الأمر كذلك فإن هذا قد يثير إشكالية صعبة.

كما أن رايشنباخ يحدثنا أيضاً عما يطلق عليه اسم «التعريفات المتبادلة» (وتكتب في مؤلفاته المنشورة بالالمانية هكذا «Zuordmungs definitinen» وهي مأخوذة من الكلمة «Zuordnen»

التي تعني صلة أو علاقة متبادلة «Correlate». وربما يكون الارتباط أو التبادل مصطلحاً أفضل من ذلك التعريف الذي قال به بريدجمان. أشار رايشنباخ إلى أننا في الهندسة مثلاً، نجد أن نسق البديهيات الذي طوره ديفيد هيلبرت(*) «David Hilbert» غير واضح تماماً، لأن المفاهيم الأساسية التي وضعها للنقطة، والخط، والسطح، يمكن أن نطلق عليها أيضاً اسم «فئة ألفا» و «فئة بيتا» و «فئة جاما» ولا ينبغي أن نضلل بكلمات مثل «نقطة» و «خط» ونعتقد أن معناها هو ذلك المعنى المعتاد. ومن ثم تصبح حدود نسق البديهيات غير واضحة. ولكن عندما تطبق الهندسة على الفيزياء، فإن هذه الحدود ترتبط بشيء ما في العالم الفيزيائي، كأن نقول مثلاً إن خطوط الهندسة هي تلك التي تمثل أشعة الضوء في الفضاء، أو تلك التي تمثل الخيوط المشدودة، ومن ثم فإن الظواهر الفيزيائية تربط الحدود غير الواضحة.

وما نطلق عليه اسم قواعد، إنما هو في الحقيقة مسألة اصطلاحية فقط، ومن ثم ينبغي أن نكون حذرين ولا نتحدث عنها بوصفها تعريفات، لأنها ليست تعريفات بالمعنى الدقيق، ولا يمكننا أن نعطي تعريفاً واقعياً مناسباً للمفهوم الهندسي «خط» وذلك عن طريق الإشارة إلى أي شيء في الطبيعة كأشعة الضوء مثلاً أو الخيوط المشدودة، أو غيرها. ذلك لأنها ليست سوى مستقيمات تقريبية فقط، كما أنها بالإضافة إلى ذلك ليست خطوطاً لانهائية، وإنما هي خطوط محدودة، بينما الخط في الهندسة لانهائي الطول، واستقامته مطلقة ولا نجد أي من هذه الخواص في أية ظاهرة في الطبيعة. ولهذا السبب، لا نستطيع أن نعطي تعريفاً إجرائياً بالمعنى الدقيق لهذه الكلمة لمفاهيم في الهندسة النظرية، وينطبق نفس الشيء على جميع المفاهيم النظرية الأخرى في الفيزياء. فإذا أردنا أن نتحدث بدقة، لا بد أن نعترف بأنه ليس ثمة «تعريفات» لمثل هذه المفاهيم ولذلك فإنني أفضل أن لا أتحدث عن «تعريفات اجرائية» أو حتى استخدام مصطلح رايشنباخ «تعريفات متبادلة»، وإنما ـ وكما ذكرت ذلك في مؤلفاتي، علماً بأنني لم أكتب حول هذه المسألة إلا في السنوات القليلة الماضية ـ أفضل أن أطلق عليها اسم «قواعد للمطابقة»، أو بتبسيط أكثر «قواعد المطابقة».

وغالباً ما يتحدث كامبل، ومؤلفون آخرون عن الكيانات «Entities» في الفيزياء النظرية

(*) كان هيلبرت أستاذاً للرياضيات بجامعة برلين حتى عام ١٩٤٥؛ وهو الذي وضع أساس النظرية الاكسيوماتيكية «Axiomatic Theory» في المنطق، تلك النظرية التي عارض بها مذهب جبر المنطق لجورج بول من جهة والمذهب اللوجستيقي لبرتراندرسل من جهة أخرى. فهو لا يرى أن الصلة بين المنطق والرياضة هي صلة جزء بكل كما ذهب إلى ذلك مذهب جبر المنطق، كما لا يرى أن هذه الصلة هي صلة كل بجزء كما رأى أصحاب المذهب اللوجستيقي، وإنما اتجه اتجاهاً آخر وهو أن المنطق والرياضة معاً نبعا من أصول اكسيوماتيكية (بديهية) واحدة لا هي منطقية ولا هي رياضية، بل هي ذات طبيعة فوقية، تعلو على المنطق والرياضة معاً. (المترجم).

بوصفها كيانات رياضية. وهم يعنون بذلك أن الكيانات مرتبطة كل منها بالأخرى بوسائل يمكن التعبير عنها بدوال رياضية، ولكنها ليست كيانات رياضية من النوع الذي يمكن تعريفه في الرياضيات البحتة. ففي الرياضيات البحتة يمكن تعريف أنواع متعددة من الإعداد مثل دالة اللوغاريتم والدالة الأسّية، وهكذا بينها لا نستطيع أن نعرّف حدوداً مثل «اليكترون» و «درجة حرارة» بالرياضيات البحتة، وإنما يمكننا تقييم الحدود الفيزيائية عن طريق ثوابت غير منطقية تقوم على ملاحظات العالم الواقعي. ومن ثم يتضح أن هناك اختلافاً جوهرياً بين النسق البديهي في الرياضيات والنسق البديهي في الفيزياء.

وإذا أردنا أن نقدم تفسيراً لحد ما في نسق بديهي رياضي، لأمكننا أن نفعل ذلك عن طريق تعريف ما في المنطق. افترض مثلاً أننا أردنا أن نعرّف الحد «عدد» كما هو مستخدم في نسق بيانو البديهي تعريفاً منطقياً، لاستعنا في ذلك بطريقة فريجة ـ رسل(*) كما أن مفهوم «العدد» أيضاً يتطلب تعريفاً كاملاً محدداً يقوم على المنطق الخالص. لسنا في حاجة إلى أن نقيم ارتباطاً بين العدد خمسة وبين مرصودات مثل «أزرق» و «ساخن». إذ ان للحدود تفسيراً منطقياً فقط، ولا تحتاج إلى الارتباط بالعالم الواقعي. ويطلق أحياناً على النسق البديهي في الرياضيات اسم «النظرية»، فنجد الرياضيين يتحدثون عن نظرية المجموعة «Set» ونظرية التجمع «Group»، ونظرية المصفوفة «Matrix» ونظرية الاحتمال «Probability» وتستخدم كلمة «النظرية» هنا بطريقة تحليلية خالصة، فهي تشير إلى نسق استنباطي لا علاقة له بالعالم الواقعي، ومن ثم علينا أن نحتفظ في ذهننا دائماً بالتمييز بين استخدام النظرية بهذا المعنى، وبين استخدامها في استدلال نظريات تجريبية كالنظرية النسبية أو نظرية الكم أو النظرية السيكوتحليلية أو النظرية الكنزية الاقتصادية.

ولا يمكن لنسق المسلمات في الفيزياء أن ينعزل انعزالاً كاملاً عن العالم، كما هو الحال في النظريات الرياضية، وإنما ينبغي أن تفسر حدوده البديهية «اليكترون» مجال وهكذا ـ بمساعدة قواعد المطابقة التي تقوم بربط الحدود بالظواهر التي يمكن ملاحظاتها، وهذا التفسير غير كامل

(*) حاول بيانو أن يرد الرياضيات إلى أصول منطقية بحتة، فوضع من أجل ذلك عدة مبادىء أساسية يعتمد عليها النسق الاستنباطي في المنطق ثم وضع مجموعتين من أصول الاشتقاق تضمن المجموعة الأولى ثلاثة أفكار ابتدائية هي: الصفر، والعدد، والتالي، أما المجموعة الثانية فتشتمل على خمس قضايا ابتدائية هي: ١ ـ الصفر عدد. ٢ ـ تالي أي عدد هو عدد ٣ ـ ليس لعددين نفس التالي ٤ ـ الصفر ليس تالياً لأي عدد ٥ ـ أي خاصة بين خواص الصفر هي بالضرورة خاصة لجميع الأعداد. ثم حاول أن يشتق نظرية الأعداد الطبيعية من المبادىء التي وضعها لنسقه الاستنباطي، إلا أنه تعرض لنقد رسل الذي اعتبر هذه المحاولة موقفاً أولياً من الاشتقاق وليس نهائياً في الرد. حيث ان الصفر، والعدد، والتالي تقبل عدداً لانهائياً من التفسيرات المختلفة. ثم وضع تعريفاً منطقياً للعدد اكتشف فيما بعد أنه يشبه تعريف فريجة. (المترجم).

بالضرورة. ولأنه دائماً غير كامل فهو يترك النسق مفتوحاً ليكون في الإمكان إضافة قواعد جديدة للمطابقة. والحقيقة أن هذا هو ما يحدث دائماً في تاريخ الفيزياء. ولا أفكر الآن في إحداث ثورة في الفيزياء بأن أطور فيها نظرية جديدة تماماً، وإنما كل غرضي هو أن أجري قليلاً من التغيرات الجديدة التي يمكنها أن تعدل أو تكيف النظريات الموجودة بالفعل. وأعتقد أن فيزياء القرن التاسع عشر تقدم مثالاً جيداً في هذا الصدد. فقد تأسست الميكانيكا الكلاسيكية لعدة عقود، وحدث تغير طفيف ونسبي في قوانينها الأساسية، ومع ذلك ظلت النظريات الأساسية فيها بلا تغيير على الرغم من الإضافة المستمرة لقواعد مطابقة جديدة لها، لأنه كان ثمة إجراءات جديدة تتطور باستمرار لقياس هذا المقدار أو ذاك.

والخطر الذي يواجه الفيزيائيين دائماً هو انهم مطالبون بتطوير قواعد للمطابقة قد تكون متعارضة كل منها مع الأخرى أو مع القوانين النظرية. وإذا لم يحدث مثل هذا التعارض فإنهم مطالبون دائماً بإضافة قواعد جديدة، ومن ثم لن ينتهي الاجراء أبداً، لأن ثمة إمكانية دائمة لإضافة قواعد جديدة، فعن طريق هذه الوسيلة تزداد فرص التفسير المخصصة للحدود النظرية، ولا يهم عددها على الإطلاق، لأن التفسير لا يعد نهائياً على الإطلاق. أما في النسق الرياضي فإن الأمريكيين على العكس من ذلك تماماً، لأن التفسير المنطقي للحد البديهي يكون كاملاً. ونجد هنا سبباً إضافياً لمعارضة الحديث عن حدود نظرية يمكن «تعريفها» بقواعد مطابقة بحجة أنها تؤدي إلى طمس التمييز الهام بين طبيعة نسق بديهي في الرياضيات البحتة وآخر في الفيزياء النظرية.

ألا يمكن أن نفسر عن طريق قواعد المطابقة حداً نظرياً لشكل كامل بحيث لا نضيف إليه أي تفسير آخر؟ ربما كان العالم الواقعي محدوداً في بنيته وقوانينه، وربما نصل في نهاية الأمر إلى نقطة لا نستطيع أن نمضي خلفها لتقوية حد التفسير عن طريق قواعد مطابقة جديدة، ألا يمكن أن تزودنا القواعد إذن بتعريف نهائي وواضح للحد؟ أجل، ولكن الحد عندئذ يكف عن أن يكون نظرياً، وإنما يصبح جزءاً من لغة الملاحظة. إن تاريخ الفيزياء لم يبين إلى الآن أن الفيزياء سوف تصبح كاملة أبداً، وإنما بيّن أن ثمة إضافات باستمرار لقواعد مطابقة جديدة وتعديلات مستمرة لتفسيرات حدود نظرية. ولا توجد وسيلة لمعرفة ما إذا كانت هذه العملية لانهائية أو ما إذا كنا سوف نتوصل أخيراً إلى نوع ما من النهاية. ولكن ربما ينظر إلى المسألة على هذا النحو: إن الفيزياء لا تحظر عمل قواعد مطابقة على حد ما. وذلك لكي يتقوى ويصبح حداً معرفاً بشكل واضح، ويتوقف عن ان كون نظرياً. ولا أساس للافتراض ان من الممكن إضافة قواعد مطابقة جديدة، لأن تاريخ الفيزياء قد بيّن بوضوح مثل هذا التعديل الثابت والمطرد للمفاهيم النظرية. وأن

معـظم الـفيزيائيـين قد ينصحون باتخاذ موقـف معارض لقواعد المطابـقة ، حتى يصبـح الحد النـظري معرفاً بشـكل واضح . وأكثر من ذلـك يعتبرونـه إجراء غير ضـروري ، لن نجـني من ورائـه أي شيء ، بل ربما يكون أثره المنـاوىء ، عائقـاً للتقـدم .

وينبغي علينا بالطبع أن نسلم مرة أخرى هنا بأن التمييز بين المرصودات واللامرصودات ، إنما هو مسألة درجة ، كما ينبغي أن نعطي تعريفاً واضحـاً لمفهوم مثل الطول عن طريق إجراءات تجريبية ، لأنه يقاس ببساطة وبشكل مباشر ، ومن المستبعد تعديله عن طريق ملاحظات جديدة . ولكن من التهور أن نبحث عن قواعد مطابقة قوية «لااليكترون» تم تعريفه بشكل قطعي . إذ ان المفهوم «اليكترون» يخرج تماماً من نطاق المرصودات البسيطة المباشرة، ولذا يفضل أن نحتفظ به نظرياً ونجعله قابلاً للتعديلات عن طريق إجراء ملاحظات جديدة .

* * *

الفصل الخامِس والعشرون

كيف تشتق القوانين التجريبية الحديثة من القوانين النظريّة

دارت المناقشة في الفصل الرابع والعشرين، حول الطرق التي تستخدم فيها قواعد المطابقة لربط حدود نظرية لا يمكن رصدها بحدود قوانين تجريبية يمكن رصدها. ويمكن توضيح هذا بجلاء أكثر عن طريق سوق أمثلة قليلة تتعرض للطريقة التي يتم بها بالفعل اشتقاق قوانين تجريبية من قوانين نظرية.

يتعلق المثال الأول بالنظرية الحركية للغازات، تلك النظرية التي يمكن أن يكون نموذجها أو صورتها النسقية عبارة عن واحدة من الجسيمات الصغيرة التي يطلق عليها اسم الجزيئات، وهي تتحرك جميعاً حركة ثابتة. في صورتها الأصلية، جعلت النظرية هذه الجسيمات عبارة عن كرات صغيرة، لكل كرة نفس الكتلة، وعندما تكون درجة حرارة الغاز ثابتة، تكون نفس السرعة ثابتة أيضاً. ولقد اكتشف أخيراً أن الغاز لا يكون في حالة من الاستقرار إذا كان لكل جسيم نفس السرعة، لذا كان من الضروري أن نتوصل إلى توزيع احتمالي معين للسرعات التي سوف تظل مستقرة. وأطلق على هذا التوزيع اسم، توزيع بولتزمان ـ ماكسويل. وطبقاً له نضع نسبة معينة من الاحتمال بأن أي جزئي يتواجد ي مجال معين يكون على مقياس سرعة معينة.

ولما كانت النظرية الحركية في بداية تطورها. فقد حدث العديد من التطورات الهامة في قوانين النظرية لم تكن معروفة من قبل. فلم يكن أحد يعرف على وجه التحديد كتلة الجزيء، أو عدد الجزيئات الموجودة في سنتيمتر مكعب من الغاز، في درجة حرارة وضغط معينين. ولقد تم التوصل إلى هذه المقادير عن طريق بارامترات معينة صيغت في قوانين. وبعد أن تمت صياغتها في معادلات، أمكن إعداد معجم لقواعد المطابقة، وأمكن عن طريق هذه القواعد ربط الحدود

النظرية بالظواهر التي تخضع للملاحظة بحيث أصبح في مقدورنا أن نحدد وبطريقة مباشرة، قيم البارامترات في المعادلات، ومن ثم استطعنا اشتقاق القوانين التجريبية. وتقرر إحدى قواعد المطابقة هذه، أن درجة حرارة الغاز تتطابق مع متوسط القوة الحركية للجزيئات. كما تربط قاعدة أخرى ضغط الغاز بتصادم الجزيئات على الجدار المحيط بإناء. وعلى الرغم من عدم استمرار هذه العملية لاشتمالها على جزيئات منفصلة، إلا أنه يمكنه ملاحظة النتيجة الكلية باعتبارها قوة ضغط ثابتة على الجدار. وهكذا أمكن عن طريق قواعد المطابقة التعبير عن الضغط ـ الذي تم قياسه ماكروسكوبياً بمانومتر (مقياس ضغط الغاز) ـ في حدود ميكانيكا الجزيئات الإحصائية.

ما هي كثافة الغاز؟ إن الكثافة هي كتلة كل وحدة حجم. ولكن كيف نقيس جزيئاً؟ مرة أخرى، يزودنا معجمنا ـ وهو معجم صغير جداً ـ بقاعدة المطابقة. إنه كتلة الغاز الكلية ك هي مجموع كتل الجزيئات كَ(*) و ك يمكن رصدها (لأننا يمكننا أن نزن الغاز ببساطة) ولكن ك تنتمي إلى ما هو نظري. ويعطي معجم قواعد المطابقة ارتباطاً بين مفهومين. وبمساعدة هذا المعجم يكون ممكناً اشتقاق الاختبارات التجريبية لقوانين عديدة من نظريتنا، وعلى أساس النظرية يمكن أن نحسب ما سوف يحدث لضغط الغاز عندما يكون حجمه ثابتاً، ويزداد ضغطه كما يمكننا أن نحسب ما سوف يحدث لموجة صوت نتجت عن ضربة على جانب الإناء، وما سوف يحدث إذا قمنا بتسخين جزء فقط من الغاز. وتفسر القوانين النظرية في حدود البارامترات المختلفة التي تصاغ في معادلات النظرية. كما يمكّننا معجم قواعد المطابقة من أن نعبر عن هذه المعادلات بوصفها قوانين تجريبية، وبحيث يمكن قياس المفاهيم، ومن ثم تمدنا الإجراءات التجريبية بقيم للبارامترات. فإذا تأيدت القوانين التجريبية، فإن هذا يعطي تأييداً غير مباشر للنظرية. ولقد تم تعريف الكثير من القوانين التجريبية بالطبع قبل أن تتطور النظرية الحركية، فأمدت هذه القوانين النظرية بالتفسير. وبالإضافة إلى ذلك أدت النظرية إلى قوانين تجريبية لم تكن معروفة من قبل.

والحقيقة أن قوة النظرية إنما تكمن في التنبؤ بقوانين تجريبية جديدة. ويمكن توضيح ذلك عن طريق أمثلة ممتازة، أعني بها النظرية الكهرومغناطيسية التي طورها اثنان من الفيزيائيين الإنكليز العظماء حوالى عام ١٨٦٠، وهما ميخائيل فارادى «Micheel Faraday» وجيمس كلارك ماكسويل «James Clerk Maxwell» (أنجز فارادى معظم العمل التجريبي، وأنجز ماكسويل معظم العمل الرياضي، تعاملت النظرية مع كيفية مسار شحنات كهربية في مجالات كهربية

(*) ك هي الكتلة الماكروسكوبية (الكبيرة) التي تخضع للملاحظة، أما كَ الكتلة الميكروسكوبية (الدقيقة) التي لا تخضع للملاحظة. (المترجم).

ومغناطيسية. ولم يكن مفهوم الاليكترون ـ وهو جسيم صغير جداً ـ له شحنة كهربية أولية ـ قد تمت صياغته بعد حتى نهاية القرن. ومن أجل وصف المجالات الكهرومغناطيسية، افترضت مجموعة المعادلات التفاضلية الشهيرة لماكسويل أجساماً منفصلة صغيرة ذات طبيعة مجهولة، قادرة على حمل شحنة كهربية أو قطب مغناطيسي. فماذا يحدث عندما يتحرك تيار عبر سلك نحاس؟ تناول معجم النظرية هذه النظرية التي تخضع للملاحظة، وطبقها على الحركة الفعلية عبر تيار من الأجسام المشحونة قليلاً. ومن نموذج ماكسويل النظري أصبح من الممكن (بمساعدة قواعد المطابقة طبعاً) اشتقاق العديد من القوانين الكهربية والمغناطيسية المعروفة.

ولقد أنجز النموذج أكثر من هذا بكثير. فقد كان في معادلات ماكسويل بارامتر معين يرمز له بالرمز «C». وطبقاً لهذا النموذج ينتشر اضطراباً في مجال كهرومغناطيسي عن طريق موجات لها السرعة «C». ولقد أظهرت التجارب الكهربية قيمة «C» التي تساوي ٣ × ١٠^١٠ سنتيمتراً في كل ثانية تقريباً. وكانت هذه القيمة هي نفس القيمة المعروفة لسرعة الضوء، ومن غير المحتمل، فيما يبدو، أن يكون هذا الأمر مجرد شيء عرضي. فهل كان من الممكن أن يسأل الفيزيائيون أنفسهم أن الضوء إنما هو ببساطة حالة خصوصية لانتشار ذبذبة كهرومغناطيسية؟ على أية حال لم يمض وقت طويل حتى تمكنت معادلات ماكسويل من إعطاء تفسيرات لجميع أنواع القوانين البصرية، بما فيها قوانين انكسار وسرعة الضوء في أوساط مختلفة وأشياء أخرى عديدة.

ولقد شعر الفيزيائيون بسعادة غامرة عندما تبينوا أن نموذج ماكسويل قد فسر القوانين الكهربية والمغناطيسية المعروفة، وزادت سعادتهم عندما تبينوا أنها قد فسرت أيضاً القوانين المتعلقة بعلم البصريات وأخيراً تجلت القوة الهائلة للنموذج الجديد في قدرته على التنبؤ وعلى صياغة قوانين امبيريقية (تجريبية) لم تكن معروفة من قبل.

وكان الدليل الأول على ذلك هو ذلك الدليل الذي أمدنا به الفيزيائي الألماني هينريش هرتز «Heinrich Hertz» ففي حوالى سنة ١٨٩٠ بدأ تجاربه الشهيرة ليرى ما إذا كانت الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد المنخفض يمكن أن تنتج وتشاهد في المعمل. وحيث ان الضوء هو ذبذبة وانتشار كهرومغناطيسي لموجات ذات تردد عالٍ جداً، إلا أن قوانين ماكسويل جعلت من الممكن لمثل هذه الموجات أن يكون لها أي تردد. ولقد أفضت تجارب هرتز إلى اكتشافه الذي سمي في بادىء الأمر موجات هرتز، ويطلق عليه الآن اسم موجات الراديو. ولقد استطاع هرتز أن ينقل هذه الموجات من ذبذبة إلى أخرى. في البداية كانت المسافة قصيرة ـ قليل من السنتيمترات ثم أصبحت متراً أو أكثر ـ أما اليوم فإن محطة إرسال الراديو تبث موجاتها على مسافة عديد من الآلاف من الأميال.

وكان اكتشاف موجات الراديو، بداية فقط لاشتقاق قوانين جديدة من نموذج ماكسويل النظري. فقد تم اكتشاف أشعة X، وكان يعتقد من قبل أنها جسيمات ذات سرعة عالية جداً، وقوة خارقة، إلا أن الفيزيائيين اكتشفوا أنها مثل الضوء وموجات الراديو، مجرد موجات كهرومغناطيسية، وإنما ذات تردد عال جداً، أعلى بكثير من تردد ضوء منظور. وكان هذا أيضاً تأييداً أخيراً، فلأن القوانين التي تتعامل مع أشعة X كانت مشتقة من معادلات المجال الأساسية لماكسويل فقد ثبت أن أشعة X ما هي إلا موجات تتردد لمدى معين من خلال تردد حزمة أكبر بكثير من أشعة جاما. وإذا كانت أشعة X تستخدم اليوم في الطب فما هي ببساطة إلا أشعة جاما وإنما ذات تردد معين. كان كل هذا ما أمكن التنبؤ به على أساس نموذج لماكسويل. فقد أدت قوانينه النظرية بالإضافة إلى قواعد المطابقة إلى تنوع ضخم في القوانين التجريبية الحديثة.

وهناك تنوع كبير في المجالات التي تشترك كلها في التأييد التجريبي، وبصفة خاصة في ذلك التأييد القوي الشامل لنظرية ماكسويل. فلقد تطورت الفروع المختلفة للفيزياء في الأصل لأسباب عملية. إذ اعتمدت التقسيمات المختلفة في معظم الأحيان على أعضائنا الحسية المختلفة. فلأن عيوننا تدرك الضوء واللون إدراكاً حسياً، أطلقنا على مثل هذه الظواهر اسم البصريات، ولأن آذاننا تسمع الأصوات، أطلقنا على هذا الفرع من الفيزياء اسم السمعيات، ولأن أجسامنا تشعر بالحرارة اخترعنا نظرية في الحرارة. وبات من المفيد أن نصنع آلات بسيطة تعتمد على حركة الأجسام، وأطلقنا عليها اسم الميكانيكا. كما أن هناك ظواهر أخرى، مثل الظواهر الكهربية والمغناطيسية، لا يمكننا إدراكها إدراكاً حسياً مباشراً، وإنما يمكننا رصد مؤثراتها.

وفي تاريخ الفيزياء تتحقق دائماً قفزة إلى الأمام، وذلك عندما يصبح في الإمكان تفسير فرع من الفيزياء من فرع آخر. فالسمعيات على سبيل المثال، وجد أنها ليست سوى جزء من الميكانيكا، لأن موجات الصوت ببساطة لها خاصية المرونة في الجوامد والسوائل والغازات. وكان حديثنا من قبل يدور حول كيفية تفسير قوانين الغازات بميكانيكا حركة الجزيئات. وكانت نظرية ماكسويل أيضاً قفزة كبرى نحو توحيد الفيزياء. فلقد وجد أن البصريات ما هي إلا جزء من النظرية الاليكترومغناطيسية. ولقد تبلورت ببطء فكرة إمكان توحيد الفيزياء ـ يوماً ما ـ في نظرية واحدة كاملة. بيد أننا في العصر الحالي نواجه بفجوة واسعة بين الاليكترومغناطيسية من جانب والجاذبية من جانب آخر. ولقد بذل اينشتين محاولات متعددة لتطوير نظرية المجال الموحد، تلك النظرية التي يمكن أن تقلل من هذه الفجوة، كما بذل هيزنبرج وآخرون محاولات شبيهة بذلك في السنوات الأخيرة. بيد أنه مع ذلك لم يتم التوصل إلى نظرية مرضية تماماً في هذا الشأن.

وكانت الفيزياء في الأصل ماكروفيزياء تخضع للوصف، وتشتمل على عدد ضخم من القوانين التجريبية التي لم يكن بينها روابط واضحة. وفي بداية أي علم ربما يكون العلماء فخورين جداً بما لديهم من مئات القوانين المكتشفة. ولكن سرعان ما ينتابهم القلق من كثرة هذه القوانين التي تشبه تكاثر النبات، فيسعون جادين إلى البحث عن مبادىء منظمة أو موحدة لها. وفي القرن التاسع عشر احتدم الجدال حول مسألة المبادىء المنظمة ـ وشعر البعض أن العلم في حاجة إلى مثل هذه المبادىء وإلا أصبح العلم مجرد وصف بسيط للطبيعة وليس تفسيراً حقيقياً لها. واعتقد آخرون أن المسألة يحوطها المخاطر، لأن المبادىء المنظمة، تجرنا إلى براثن الميتافيزيقا. لذلك حصروا مهمة العالم في مجرد وصف أو اكتشاف كيف تحدث الظواهر الطبيعية، لا لماذا تحدث.

واليوم لا يسعنا إلا أن نبتسم قليلاً من هذا الجدل الذي كان محتدماً بين أنصار الوصف مقابل التفسير. وذلك لأن كل فريق منهما كان لديه ما يقوله، ولكن الطريقة التي طرحوا بها المشكلة للنقاش كانت عقيمة. والواقع أنه ليس ثمة تعارض حقيقي بين الوصف والتفسير. فإذا أخذنا الوصف بمعناه الضيق أي باعتباره مجرد وصف لما فعله عالم معين في يوم معين مع مواد معينة، لكان المناوئون لمجرد الوصف على صواب تماماً في مطلبهم لما هو أبعد من ذلك التفسير الحقيقي. ولكننا اليوم ننظر إلى الوصف بالمعنى الواسع، أي بمعنى وضع الظواهر في سياق القوانين الأكثر عمومية، ومن ثم نحصل على نموذج للتفسير لا يخرج عن نطاق الظواهر. وبالمثل إذا كان المعارضون للتفسير يقصدون التفسير الميتافيزيقي الذي لا ينهض على إجراءات تجريبية لكانوا أيضاً على صواب في إصرارهم على أن العلم لا يهتم إلا بالوصف. إذن لكل جانب وجهة نظر صحيحة، ولكل من الوصف والتفسير إسهامات ضرورية للعلم.

إن الإسهامات الأولى في التفسير وهي تلك التي ابتدعها الفلاسفة الطبيعيون الايونيون، كانت بالتأكيد ميتافيزيقية، فالعالم كله نار أو كله ماء، أو كله يتغير. ويمكن النظر إلى تلك الإسهامات المبكرة في التفسير العلمي بطريقتين مختلفتين، يمكننا أن نقول: «هذا ليس علماً، وإنما هو ميتافيزيقا خالصة. فليس ثمة إمكانية لإثبات أي شيء، وليس ثمة قواعد للمطابقة تساعدنا على ربط النظرية بظواهر يمكن إخضاعها للملاحظة». ويمكننا أن نقول من ناحية أخرى: «هذه النظريات الايونية ليست علماً بالتأكيد وإنما هي على الأقل مجرد تخيلات تصورية لنظريات. ومن ثم فهي إرهاصات أولى لعلم بدائي».

وعلينا أن نتذكر دائماً أن تاريخ العلم، والتاريخ السيكولوجي للعالم المبدع، يؤكدان على أهمية الخيال. لأن النظرية غالباً ما تظهر في البداية كنوع من الخيال، ذلك الخيال الذي يأتي للعالم

على شكل الهام قبل أن يتمكن من اكتشاف قواعد المطابقة التي تساعده على إثبات نظريته. وعندما قال ديموقريطس أن كل شيء يتكون من ذرات، لم يكن لديه بالتأكيد أدنى دليل تجريبي على صحة نظريته، ومع ذلك كانت لديه عبقرية فذة، وفراسة عظيمة. ذلك لأنه بعد مضي أكثر من ألفي سنة أمكن إثبات ما تخيله. ولهذا السبب لا ينبغي أن نتهور ونعارض أي خيال توقعي لنظرية ما، بشرط أن يكون في الإمكان اختباره في زمن مستقبلي ما. والواقع أننا نقف على أرض صلبة ولكن إذا كنا نتوخى الحذر حقيقة فلا يمكن أن يُدْعَى الفرض أنه علمي إلا إذا كانت هناك إمكانية لاختباره. وليس المطلوب إثباته حتى يصبح فرضاً، وإنما المطلوب أن تكون ثمة قواعد مطابقة تسمح، ولو مبدئياً، بأن تكون لدينا وسائل لإثبات أو عدم إثبات نظرية ما. وربما يكون من الصعوبة البالغة أن ينظر إلى التجارب على أساس أنها صالحة لاختبار نظرية، لأن نظريات المجال الموحد المختلفة التي افترضت في السنوات الماضية تفترض هذه الصعوبة ولكن مع ذلك لا بد من افتراض إمكانها من حيث المبدأ، وإلا كانت صفة العلمية التي تتصف بها النظرية غير ذات معنى. وعلى أية حال عندما تقترح نظرية لأول مرة، لا ينبغي أن نطلب منها أكثر من ذلك.

والحقيقة أن تطور العلم من الفلسفة القديمة، كان عملية متدرجة تمت خطوة خطوة. فلقد كان لدى الفلاسفة الايونيين معظم النظريات البدائية، ثم أصبح تفكير أرسطو أكثر وضوحاً، ويقف على أرض علمية أكثر صلابة، ولأنه أجرى تجارب، فقد أدرك أهميتها، على الرغم من أنه من نواح أخرى كان قبلياً «An Opriorist»، وكان هذا بداية العلم. ولكنه لم يكن كذلك حتى عصر جاليلوجاليلي «Galileo Galilei» حوالي عام ١٩٠٠، فقد تأكدت أهمية المنهج التجريبي وأصبح مفضلاً على التعليل القبلي لظواهر الطبيعة. وعلى الرغم من أن العديد من مفاهيم جاليليو النظرية قد سبق ذكرها من قبل، إلا أنه كان رائداً بحق في وضع الفيزياء النظرية على أساس تجريبي قوي ومتين. ولأول مرة في تاريخ العلم تقدم فيزياء نيوتن (حوالي سنة ١٦٧٠) نظرية منهجية شاملة تتعرض لظواهر لا تخضع للملاحظة، وتصاغ في مفاهيم نظرية: القوة الكلية للجاذبية، مفهوم الكتلة العام، الخواص النظرية لأشعة الضوء، وهكذا. ولقد كانت نظريته في الجاذبية عمومية جداً، فقد قررت أن ثمة قوة بين أي جسمين، صغراً أو كبراً، تتناسب مع مربع المسافة بينهما. وعلى الرغم من أن هذه النظرية قد ذُكرت قبل نيوتن، إلا أنها لم تقدم تفسيراً يوضح انطباقها على كل الظواهر، من سقوط الحجر إلى حركات الكواكب حول الشمس.

ومن السهل جداً أن نلاحظ اليوم كم كان الأمر غريباً ألا يتمكن أي شخص قبل نيوتن من اكتشاف أن نفس القوة هي التي تسبب سقوط التفاحة، ودوران القمر حول الأرض. إذ لم

يحدث لأي شخص على الأرجح إن فكر في هذا قبله. ولا يرجع ذلك إلى أن المسألة كانت من الصعوبة بحيث لم تجد من يجيب عنها، ولكن لأن أحداً لم يسأل السؤال. وهذه نقطة حيوية جداً، لم يسأل أحد «ما هي العلاقة التي تنعقد بين القوى فتجعل الأجسام السماوية ترتبط كل منها بالأخرى، وما هي القوى الأرضية التي تسبب سقوط الأجسام على الأرض؟». بل ان الحديث عما هو «أرضي» و«سماوي» وجعلهما شيئاً واحداً كان مستبعداً. فقد كانت الطبيعة منقسمة إلى قسمين أو منطقتين مختلفتين بشكل أساسي، وتتجلى عبقرية نيوتن الفذة في الإفلات من هذا التقسيم، إذ قرر عدم وجود مثل هذا التصدع في الطبيعة، وأن الطبيعة واحدة، والعالم واحد. ولأن قانون نيوتن العام للجاذبية كان قانوناً نظرياً، فقد فسر منذ اللحظة الأولى سقوط التفاحة، وقوانين كبلر في حركات الكواكب. وكانت المغامرة جريئة إلى أبعد حد، ذلك لأن عصر نيوتن لم يكن مهيئاً للتفكير في مثل هذه النظريات العامة.

وفيما بعد، وعن طريق قواعد المطابقة، اكتشف العلماء كيفية تحديد الأجسام الفلكية. كما أن نظرية نيوتن كانت قد ذكرت أننا إذا وضعنا تفاحتين جنباً إلى جنب على منضدة فإن كل منهما تجذب الأخرى. ولا يعني هذا أن كل منهما تتحرك صوب الأخرى، وذلك لأن القوة الجاذبة ضئيلة جداً بينما الاحتكاك على المنضدة كبير جداً. إلا أن الفيزيائيين نجحوا أخيراً في قياس القوى الجاذبة الفعلية بين جسمين في المعمل واستخدموا لهذا الغرض الميزان الالتوائي «A Torsion Balance» الذي يتكون من قضيب، على كل طرف من طرفيه كرة معدنية وهو معلق من مركزه بسلك طويل مربوط في سقف عال (وإذا كان السلك أكثر طولاً وأقل سمكاً، تحرك القضيب بسهولة أكثر) وبالفعل لم يستقر القضيب أبداً بشكل مطلق، وإنما كان يتذبذب قليلاً، ولذلك كان في الإمكان تعيين متوسط ذبذبته. وبعد تحديد متوسط موضعه بدقة، أحضروا كوماً كبيراً من قوالب الرصاص ووضعوه في ترتيب بالقرب من القضيب (ولقد استخدم الرصاص بسبب جاذبيته الكبيرة نسبياً، وبرغم جاذبية الذهب الأعلى، إلا أن قوالبه أكثر تكلفة بكثير)، ولقد وجدوا أن متوسط ذبذبة القضيب قد تغيرت بشكل طفيف، فقد مالت الكرة التي على طرف القضيب، ناحية قوالب الرصاص، وعلى الرغم من أن الميل كان كسراً من المليمتر فقط، إلا أنه كان كافياً لتقديم ملاحظة أولية عن التأثير الجاذبي بين جسمين في معمل ـ ذلك التأثير الذي كانت نظرية نيوتن في الجاذبية قد تنبأت به.

ولقد كان معروفاً قبل نيوتن أن التفاح يسقط على الأرض، وأن القمر يدور حول الأرض، ولكن لم يكن أحد قبله قد تنبأ بنتيجة تجربة الميزان الإلتوائي. ويعد هذا مثالاً تقليدياً عن قوة النظرية في التنبؤ بظاهرة جديدة لم تلحظ من قبل.

الفصل السَادِس وَالعشرون

جملة رَامسي

تشهد هذه الأعوام تحليلات مكثفة للنظرية العلمية وتستخدم النظرية العلمية هنا بمعنى المصادرات النظرية في علاقتها بقواعد المطابقة، والتي ترتبط بـالحدود النـظرية والخـاضعة للملاحظة ـ ولقد ناقشها فلاسفة العلم، بيد أن الكثير من هذه المناقشات لحداثتها، لم تنشر بعد. وفي هذا الفصل سوف نعرض لأطروحة هامة في هذا الموضوع، ترجع إلى الورقة البسيطة المعروفة التي كتبها المنطقي والاقتصادي الكمبردجي فرانك بلامبتون رامسي «Frank Plumpton Ramsey».

ولقد توفي رامسي عام ١٩٣٠ عن عمر يناهز الستة والعشرين عاماً، ولم يعش طويلاً حتى يكمل كتاباً، ولكن بعد وفاته جمعت أوراقه وأعدها للنشر ريتشارد بيفان بريثويت «Richard Bevan Braithwaite»، ثم نشرها في عام ١٩٣١ تحت عنوان «أسس الرياضيات «The Foundations of Mathematics». وفي هـذا الكتاب تـظهر ورقـة صغـيرة بعنـوان «نـظريـات» «Theories». ولم تلق هذه الورقة ما تستحقه من اهتمام. وربما يكون ذلك راجعاً إلى أن عنوان الكتاب قد اجتذب القراء المهتمين فقط بالأسس المنطقية للرياضيات. ومن ثم فإن الأوراق الأخرى الهامة في الكتاب، ومنها ورقة نظريات، اتجه إلى إهمالها.

والحقيقة أن رامسي قد تحير كثيراً عندما تبين أن الحدود النظرية ـ حدود الموضوعات، الخواص، القوى، الحوادث الوصفية في نظرية ـ ليس لها معنى، في حين أن الحدود التي تخضع للملاحظة ـ «حديد» «قضيـب»، «ساخن» و «أحمر» لها معنى كامل. فكيف إذن يكون للحد النظري معنى؟ لا شك أن كل شخص يوافق على أن معناه يشتق من سياق النظرية. «فالورثة»

مثلاً يشتق معناها من النظرية الوراثية. كما أن الأليكترون يفسر بمسلمات الفيزياء الجسيمية. ولكننا نواجه هنا بالعديد من المسائل المضطربة المشوشة، مثل كيف يمكن تحديد المعنى الإمبيريقي (التجريبي) للحد النظري؟ وماذا تخبرنا نظرية معينة عن العالم الفعلي؟ وهل تصف النظرية بنية العالم الواقعي، أم أنها مجرد استنباط اصطناعي محض يستهدف إضفاء نوع من الانتظام في خضم عدد هائل من التجارب بنفس الطريقة التي تتبع في نظام فن الحسابات، وهي تلك الطريقة التي عن طريقها يمكننا تسجيل انتظام المعاملات المالية الثابتة؟ وهل يجوز القول أن الأليكترون «يوجد» مثلما يوجد «قضيب الحديد»؟

الحقيقة أن هناك إجراءات بسيطة ومباشرة لقياس خواص القضيب، فيمكننا مثلاً تحديد كتلته ووزنه بدرجة عالية من الدقة، كما يمكننا قياس أطوال موجة ضوء منبعثة من سطح قضيب من الحديد الساخن، ونعرف بدقة ما نعنيه عندما نقول أن قضيب الحديد هذا «أحمر». أما إذا تعاملنا مع خواص كيانات نظرية، مثل «دوران» جسيم أولى، فإننا نواجه على الفور بإجراءات معقدة وغير مباشرة، لا لشيء إلا لتحديد المعنى التجريبي للحد «دوران». فلا بد أولاً أن نقدم «الدوران» في سياق نظرية محكمة في ميكانيكا الكم، كما ينبغي أن ترتبط النظرية بملاحظات معملية عن طريق مجموعة أخرى معقدة من مصادرات قواعد المطابقة. بالاختصار نجد أن الدوران غير مدعم تجريبياً بطريقة بسيطة ومباشرة كما هو الحال مع «احمرار» قضيب الحديد الساخن. لأننا نضطر إلى التساؤل: ما هي بالضبط حالتها الإدراكية»؟ وكيف يمكن تمييز الحدود النظرية ـ التي ينبغي أن ترتبط بطريقة ما بالعالم الواقعي وبموضوع الاختبار الإمبيريقي ـ عن تلك الحدود الميتافيزيقية التي غالباً ما ينظر إليها في الفلسفة التقليدية بوصفها حدوداً خالية من المعنى الإمبيريقي؟ وأيضاً كيف يمكن أن نبرر حق العالم في الحديث عن مفاهيم نظرية دون أن نبرر في نفس الوقت حق الفيلسوف في أن يستخدم حدوداً ميتافيزيقية؟

وفي محاولة لتلمس إجابات عن هذه الأسئلة المحيرة، تقدم رامسي باقتراح غريب ومفزع في نفس الوقت. فقد اقترح أن يستبدل النظام الموحد للمصادرات النظرية والمطابقة بما يطلق عليه اليوم اسم «جملة رامسي المتعلقة بالنظرية»، وفي جملة رامسي ـ التي تكافىء المصادرات النظرية ـ لا تستخدم الحدود النظرية على الإطلاق. وبكلمات أخرى، نُحّيت جانباً المسائل المحيرة، وذلك عن طريق استبعاد الحدود التي نشأت منها هذه المسائل.

هب أننا وجهنا اهتمامنا إلى نظرية تحتوي على «ن» من الحدود النظرية: «ت ١» «ت ٢»، «ت ٣. . . ت ن». ولقد تم تقديم هذه الحدود عن طريق مصادرات النظرية، وهي مرتبطة

بحدود خاضعة للملاحظة بشكل مباشر عن طريق قواعد مطابقة النظرية. وفي قواعد المطابقة هذه تستخدم الحدود الخاضعة للملاحظة م: «و ١»، «و ٢»، «و ٣» . . . «و م». أما النظرية في حد ذاتها فهي التي تربط جميع المصادرات النظرية بجميع المصادرات المطابقة، ومن ثم فإن عبارة كاملة للنظرية سوف تحتوي على مجموعات مرتبطة بحدود ت و و: ت ١، ت ٢ . . . ت ن، و ١، و ٢ . . . ، و م. وفي هذه الجملة ـ الجملة الكاملة للنظرية ـ اقترح رامسي أن نحل محل الحدود النظرية، المتغيرات المطابقة: «ط ١»، «ط ٢». . . «ط ن». وهي التي أطلق عليها المنطقيون اسم «الأسوار الوجودية»، (ط ١ ∃)، (ط ٢ ∃). . . (ط ن ∃). ولقد أضيفت هذه الأسوار الوجودية، بمتغيراتها ـ ط إلى الصياغة السابقة، فكونت جملة جديدة أطلق عليها اسم «جملة رامسي».

ولكي يتضح لنا بشكل كامل كيف يمكننا تطوير هذا النموذج، افترض المثال التالي: لنأخذ الرمز «جز» ليشير إلى فئة الجزيئات «Molecules»، أما الجزيء الواحد فإننا نطلق عليه اسم «عنصر الجزيء». وبالمثل يشير «هايجز» إلى فئة جزيئات الهيدروجين، وجزيء الهيدورجين الواحد إلى «عنصر الهانجز». ولأن من المفترض أن الحدث الزمكاني كان نظاماً ثابتاً، فإنه يمكننا أن نأتي بنقطة زمكانية عن طريق إحداثياتها الأربع م، ن، هـ، ز. فإذا أخذنا الرمز «ح» للإشارة إلى مفهوم درجة الحرارة، إذن لكانت «درجة الحرارة» الخالصة للجسم ب في الزمن ز تساوي ٥٠٠» ويمكن أن نكتب على هذا النحو «ح (ب، ز) = ٥٠٠°، وهكذا تم التعبير عن درجة الحرارة بوصفها علاقة تشتمل على جسم، ونقطة من (الزمن، وعدد كذلك يمكن أن يكتب «ضغط الجسم ب في الزمن ز» على هذا النحو من ب، ز)» وأيضاً إذا كان مفهوم الكتلة يمثله الرمز «ك»، وكانت «كتلة الجسم ب تساوي ١٥٠ جراماً، فإنها تكتب هكذا «ك (ب) = ١٥٠»، وتصبح الكتلة هنا علاقة بين جسم وعدد. أما إذا كان الرمز «س» يمثل سرعة جسم ما (ربما كان جسماً كبيراً أو مجهارياً)، فإن «س (ب، ز) = (ع ١، ع ٢، ع ٣) حيث يشير الجانب الأيسر من المعادلة إلى ثلاثة أضعاف الأعداد الحقيقية أعني مركبات السرعة في الاتجاهات م، ن، هـ. ومن ثم تصبح س علاقة بين جسم، واحداثية زمان، وثلاثة أضعاف أعداد حقيقية.

وبصفة عامة يمكننا الحديث عن لغة نظرية تحتوي على «حدود فئة» (مثل حدود الأجسام الكبيرة، والأجسام المجهرية والحوادث)، وحدود علاقة (مثل حدود الأجسام الفيزيائية المختلفة).

افترض النظرية ن ق ، وترمز «ن» إلى المصادرات النظرية، أما ق فإنها ترمز إلى مصادرات

قواعد المطابقة. وهذه النظرية تشتمل على بعض قوانين النظرية الحركية للغازات، وهي قوانين متعلقة بحركات الجزيئات، وسرعاتها واصطداماتها، وهكذا. إننا نعرف أن هناك قوانين عامة لأي غاز كما أن هناك قوانين خاصة لغاز الهيدروجين. وبالإضافة إلى ذلك هناك قوانين لنظرية الأجسام الغازية تتعلق بالحرارة والضغط والكتلة الكلية للجسم الغازي. افترض أن المصادرات النظرية للنظرية ن ق تحتوي على جميع الحدود التي ذكرناها آنفاً. ولدواعي الاختصار، فإننا نكتب الحدود النظرية فقط مع الإشارة إلى الروابط النظرية بالنقاط:

(ن)... جز... هايجز... ح... ض... ك... س...

ولكي نستكمل ترميز النظرية ن ق، نضع في الاعتبار الحدود النظرية لبعض مصادرات قواعد المطابقة وليس من الضروري كلها. وربما تصلح مصادرات ق إلى أن تكون قواعد إجرائية لقياس درجة الحرارة والضغط. كما أن مصادرات ـ ق سوف تحتوي على الحدود النظرية «ح» و «ض» تماماً كما تحتوي على الحدود الخاضعة للملاحظة «و ١»، «و ٢» «و م». ويمكن التعبير عن مصادرات ـ ق بطريقة موجزة على النحو التالي:

«ق»... ح... و١... و٢... و٣... ض... و٤... وم...

كما يمكن الإشارة إلى النظرية الكاملة بالصياغة التالية:

(ن ق)... جز... هايجز... ح... ض... ك...
س... ح... و١... و٢... و٣...
ض... و٤... وم.

ولكي نحول النظرية ن ق إلى جملتها الرامسية، فإن ذلك يتطلب خطوتين. الأولى أن نحل الفئة ومتغيرات العلاقة المختارة بعناية، محل جميع الحدود النظرية (حدود الفئة، وحدود العلاقة). فإذا حدث «جز» مثلاً في النظرية، فإننا نستبدله بالمتغيرات «ق ١»، وإذا حدث «هايجز» في النظرية فإننا نستبدله بفئة متغيرة أخرى مثل «ق ٢». أما حد العلاقة «ح» (الذي يعبر عن جزيء النظرية ن، ق) فإننا نستبدله بعلاقة متغيرة، مثل «ل ١»، وبالمثل نستبدل حدود العلاقات «ض» و «ك» و «س» بثلاث علاقات أخرى متغيرة «ل ٢» و «ل ٣» و «ل ٤» فنصل إلى النتيجة النهائية التي يشار إليها على هذا النحو:

... ق١... ق٢... ل١... ل٢... ل٣... ل٤...،
... ل١... و١... و٢... و٣... ل٢...
و٤... وم...

وهذه النتيجة (التي ينبغي أن ندوّنها بشكل كامل وليس بشكل مختصر كما فعلنا باستخدامنا للنقاط) لم تصبح جملة بعد (كما هو الحال في ن، ق، أو ن ق) وإنما هي صياغة جملة مفتوحة أو هي - كما يطلق عليها أحياناً - صورة جملة أو دالة جملة. والخطوة الثانية لتحويل صياغة الجملة المفتوحة إلى جملة رامسي.

ر ن ق(*) تتطلب ستة اسوار وجودية لكل واحدة منها ستة متغيرات:
(ر ق ن) (ق ١ ∃) (ق ٢ ∃) (ل ١) (ل ٢ ∃) (ل ٣ ∃) (ل ٤ ∃).
[. . . ق ١ . . . ق ٢ . . . ل ١ . . . ل ٢ . . . ل ٣ . . . ل ٤ . . .، . . . ل ١ . . .
و ١ . . . و ٢ . . . و ٣ . . . ل ٢ . . . و ٤ . . . وم . . .].

وبمساعدة السور الوجودي تقرر الصياغة السابقة أن هناك على الأقل كياناً واحداً يحقق الشرط المعبر عنه بواسطة الصياغة. وهكذا تقرر جملة رامسي أن هناك (على الأقل) الفئة الواحدة ق ١ والفئة الواحدة ق ٢، والعلاقة الواحدة ل ١، والعلاقة الواحدة ل ٢، والواحدة ل ٣، والواحدة ل ٤، مثال ذلك:

(١) ان هاتين الفئتين والعلاقات الست مرتبط بكل منها بالأخرى بطريقة معينة (أعني كمحدد في الثاني أو جزء من صياغة ق).

(٢) ترتبط العلاقتان ل ١، ل ٢ مع كيانات م الخاضعة للملاحظة، و ١ . . . و م بطريقة معينة أيضاً (أعني كمحدد في الثاني أو جزء من صياغة ق).

والشيء الجدير بالملاحظة هنا هو أن الحدود النظرية قد اختفت في جملة رامسي وحلت محلها متغيرات. بيد أن المتغير «ق ١» لا يشير إلى أي فئة نوعية، وإنما ينصب التقرير فقط على أن ثمة فئة واحدة على الأقل، وأن هذه الفئة تحقق شروطاً معينة. كما أن معنى جملة رامسي لا يتغير بأي حال من الأحوال حتى إذا تغيرت المتغيرات بشكل تحكمي. فعلى سبيل المثال يمكن استبدال الرمزين «ق ١» و «ق ٢» بمتغيرين آخرين مثل «هـ ١» و «هـ ٢» ويظل معنى الجملة واحداً.

ويتضح من ذلك أن جملة رامسي ليست سوى طريقة أخرى غير مباشرة، للتعبير عن النظرية الأصلية. فمن السهل أن نبين أن أية قضية تتحدث عن عالم حقيقي لا تشتمل على

(*) الرمز «ر» إنما هو اختصار لاسم رامسي، أما «ن ق» فإن «ن» تمثل الحدود النظرية، و «ق» تمثل قواعد المطابقة فإذا أضفنا الأسوار الوجودية إليهما - كما سوف نرى - فإننا نحصل على جملة رامسي كاملة - (المترجم).

حدود نظرية ذلك لأن أية قضية يمكن تأييدها امبيريقيا ـ وإنما هي تستتبع من النظرية التي سوف تستتبع بدورها من جملة رامسي. وبكلمات أخرى فإن جملة رامسي لها نفس القوة التفسيرية والتنبؤية التي تكمن في نسق المصادرات الأصلي. وكان رامسي هو أول من تبصر بهذا. وكان لتبصره هذا أهمية كبرى لم ينتبه إليها إلا قليل من زملائه. ويعد بريثويت واحداً من هؤلاء القلة، فقد كان صديقاً لرامسي وهو الذي اهتم بنشر أوراقه. ففي كتابه «التفسير العلمي» الذي صدر في سنة ١٩٥٣ يناقش بريثويت أطروحة رامسي مؤكداً أهميتها.

والحقيقة أننا يمكننا الآن تجنب جميع المسائل الميتافيزيقية المزعجة التي تشوه الصياغة الأصلية للنظريات، كما يمكننا تقديم تبسيط أكثر في صياغتها. فمن قبل كان لدينا حدود نظرية «كالاليكترون» مثلاً، وكان الاليكترون يعد «واقعة» غامضة «لأنه لا يخضع للملاحظة في العالم الخارجي. وأياً كان المعنى الامبيريقي الجزئي الذي نحاول به تقوية الحدود النظرية، فلا بد أن يتم ذلك عن طريق إجراء مباشر يذكر فيه نسق المصادرات النظرية وأيضاً عن طريق ارتباط هذه المصادرات بملاحظات امبيريقية تعتمد على قواعد المطابقة. أما طريقة رامسي في الحديث عن العالم الخارجي، فإن الحد «اليكترون» يختفي، ولا يعني هذا أن الاليكترونات تختفي بالفعل، وإنما يعني أن ما ينتمي إلى العالم الخارجي. والذي يرمز إليه باللفظ «اليكترون» هو الذي يختفي. كما تقرر جملة رامسي ـ وذلك من خلال أسوارها الوجودية ـ أن هناك شيئاً ما في العالم الخارجي، وأن هذا الشيء له نفس الخواص التي يحددها الفيزيائيون للاليكترون. ولا يهم هنا وجود هذا الشيء بالفعل، وإنما الأمر لا يتعدى اقتراح طريقة مختلفة للحديث عن هذا الشيء. فالسؤال «هل توجد اليكترونات؟» لا يزعجنا، أما السؤال ما هو المعنى الدقيق للحد «اليكترون»؟ فإنه لا ينشأ أصلاً في طريقة رامسي للحديث عن العالم إذ ليس من الضروري أن نتساءل عن معنى «الاليكترون» لأن الحد نفسه لم يظهر في لغة رامسي.

ومن الأهمية بمكان أن ندرك ـ وهذه نقطة لم يشدد عليها رامسي بشكل كاف ـ أن أطروحة رامسي لا يمكن أن تعطي نظريات إلى اللغة الملاحظة، إذ أن اللغة الملاحظة (بوصفها دائماً حالة) إنما تحتوي على حدود ملاحظة فقط، وحدود أولية للمنطق والرياضيات فالفيزياء الحديثة تتطلب رياضيات شديدة التعقيد وعالية المستوى. كما تتطلب نظرية النسبية هندسة لااقليدية وحساب تفاضل وتكامل يعالج الكمية الممتدة، كما تتطلب ميكانيكا الكم بالمثل مفاهيم رياضية. ولذلك لا يمكن أن يقال ان جملة رامسي تعبر عن نظرية فيزيائية، لأنها جملة في لغة ملاحظة بسيطة. وفي لغة ملاحظة تعالج الكمية الممتدة. فهي ملاحظة لأنها لا تحتوي على حدود نظرية، وهي تعالج الكمية الممتدة لأنها تشتمل على منطق متقدم، معقد ينتظم في الحقيقة كل الرياضيات.

هب أننا أردنا، في القسم المنطقي الخاص بهذه اللغة الملاحظة، أن نحصي السلسلة د صفر، د ١، د ٢ . . . والتي تمثل كيانات رياضية، مثل أن

١ ـ د صفر تشتمل على الأعداد الطبيعية (٠، ١، ٢، ٠٠٠).

٢ ـ بالنسبة لأي د ن، فإن د ن + ١ تشتمل على جميع فئات العناصر التي تدخل في د ن.

أما اللغة الممتدة فهي تشتمل على متغيرات لجميع أنواع تلك الكيانات، مع قواعد منطقية مناسبة لاستخدامها. وفي رأيي تعد هذه اللغة كافية، ليس فقط لصياغة كل نظريات الفيزياء الحالية، وإنما أيضاً لكل النظريات المستقبلية. وبالطبع ليس في مقدورنا أن نتنبأ بأنواع الجسيمات أو الحقول أو التفاعلات، أو المفاهيم الأخرى التي يمكن للفيزيائيين أن يدخلوها في القرون التالية ـ ومع ذلك فإنني أعتقد أن مثل هذه المفاهيم النظرية، وبصرف النظر عن كونها غير مألوفة ومعقدة، يمكن صياغتها ـ عن طريق اقتراح رامسي ـ بنفس اللغة الملاحظة الممتدة التي تسود الآن، والتي تشتمل على حدود ملاحظة مرتبطة بالمنطق والرياضيات المتقدمة.

ومن ناحية أخرى، فإن رامسي لم يقصد بالتأكيد ـ ولا أحداً غيره يرى ذلك ـ أن يتخلى الفيزيائيون عن الحدود النظرية سواء في أحاديثهم أو كتاباتهم، لأنهم إذا فعلوا ذلك لكانت عباراتهم شديدة التعقيد. فمن السهل مثلاً أن نقول في لغة معتادة أن كتلة شيء معين تساوي خمسة جرامات. كما يمكن لشخص ما أن يقول ـ في دلالة رمزية لنظرية وذلك قبل تحولها إلى جملة رامسي ـ أن كتلة شيء معين تساوي خمسة جرامات، ويكتبها هكذا «كتلة (١٧) = ٥. ومع ذلك، ففي لغة رامسي لا يظهر الحد النظري «كتلة» وإنما يظهر فقط المتغير «ل ٣» (كما هو مبين في المثال السابق). إذن كيف يمكن ترجمة الجملة «كتلة (١٧) = ٥» إلى لغة رامسي؟ من الواضح أنها لن تكتب هكذا «ل ٣ (١٧) = ٥»، لأن هذه ليست جملة. وإنما ينبغي أن تكون الصياغة مكتملة عن طريق افتراضات تخص العلاقة ل ٣، وهي تلك التي سبق تعيينها في جملة رامسي. ومن ناحية أخرى إذا اقتصرنا على انتقاء صياغات للمصادرة التي تحتوي ل ٣، فإن ذلك لن يكون كافياً، إذ أن جميع المصادرات مطلوبة. ومن ثم فإن ترجمة حتى هذه الجملة الموجزة إلى لغة رامسي تتطلب جملة طويلة للغاية تحتوي على صياغات تنطبق على جميع المصادرات النظرية، وجميع المصادرات المطابقة بأسوارها الوجودية. وحتى إذا استخدمنا هذه الصورة الموجزة، فسوف تكون الترجمة طويلة نوعاً ما:

(ق ١ ∃) (ق ٢ ∃). . . (ل ٣ ∃) (ل ٤)(. . . ق ١ . . . ق ٢ . . . ل ١ . . . ل ٢ . . .

ل ٣ . . . ل ٤ . . . ؛ . . . ل ١ . . . و ١ . . . و ٢ . . . و ٣ . . . ل ٢ . . . و ٤ . . . وم . . . ،
ل ٣ (١٧) = ٥).

ويتضح من ذلك أنها لا تصلح لكي تعوض طريقة رامسي في الحديث عن محاضرة عادية في الفيزياء، تستخدم حدوداً نظرية. وإنما قصد رامسي منها مجرد التوضيح بأنها ممكنة في صياغة أي نظرية تستخدم لغة لا تتطلب حدوداً نظرية، ولكن أن تقرر نفس الشيء بوصفها لغة مواضعية (اصطلاحية).

وعندما نقول أنها «تقرر نفس الشيء» فإننا نعني بذلك أنها تتعلق بجميع النتائج الملاحظة، وهي لا تقرر بالطبع نفس الشيء تماماً. وإنما تفترض اللغة السابقة أن حدوداً نظرية مثل «اليكترون» و «كتلة» إنما تشير إلى شيء ما، هو بوجه ما، أكثر مما تمدنا به سياق النظرية نفسها. ولقد أطلق بعض الكتاب على هذا تعبير «المعنى الزائد» للحد. وعندما يوضع هذا المعنى الزائد في الاعتبار لا تصبح اللغتان بالتأكيد متكافئتين. أما جملة رامسي فإنها تعبر عن المضمون الذي يخضع للملاحظة بشكل كامل في النظرية ـ وهنا تكمن بصيرة رامسي النفاذة، لأن هذا المضمون الذي يخضع للملاحظة هو كل ما تحتاجه النظرية لكي تؤدي وظيفتها كنظرية أي لكي تفسر الوقائع المعروفة، وتتنبأ بأخرى لم تعرف بعد.

وصحيح أن الفيزيائيين يجدون أن من المناسب الحديث بلغة مختصرة عن الحدود النظرية كقولنا «بروتون» و «اليكترون» و «نيوترون» ولكن إذا ما سئلوا عما إذا كانت الأليكترونات موجودة «بالفعل» لكانت إجاباتهم متعارضة. وبعضهم مقتنع بطريقة رامسي في التكفير في مثل هذه الحدود. فهم يتهربون من مسألة الوجود هذه، ويقررون أن ثمة حوادث تخضع للملاحظة في غرف معينة، ومن ثم يمكن وصفها عن طريق دوال رياضية معينة، وذلك من خلال إطار نظام نظري معين. ومن ثم فإنهم في الحقيقة لم يقرروا شيئاً. فإن تسأل عما إذا كان يوجد بالفعل اليكترونات هو نفس الشيء ـ من وجهة نظر رامسي ـ الذي تسأل فيه عما إذا كانت فيزياء الكم صحيحة. فإذا كنا نحكم على فيزياء الكم بأن التجارب قد أقرتها، فإن هذا يبرر لنا القول بأن ثمة حالات لأنواع معينة من الحوادث تسمى بلغة نظرية «اليكترونات».

ويطلق أحياناً على وجهة النظر هذه، الرؤية «الذرائعية» للنظريات وهي وثيقة الصلة بالموقف الذي دافع عنه كل من تشارلس بيرس، وجون ديوي، وبراجماتيين آخرين، تماماً كما دافع عنه العديد من فلاسفة العلم الآخرين. ومن وجهة النظر هذه لا تشير النظريات إلى «واقعة» وإنما هي ببساطة أدوات لغوية لتنظيم ظواهر التجربة الملاحظة في نموذج ما، يكون من

وظيفته التنبؤ بشكل فعال بملاحظات جديدة. ومن ثم فإن الحدود النظرية تصبح رموزاً ملائمة كما أن المصادرات المشتملة عليها تصبح صائبة لأنها نافعة وليس لأنها «صحيحة» في حد ذاتها. وينبغي ألا يكون لها معنى زائد خلف الطريقة التي تؤدي بها وظيفتها في النسق. فلا معنى أن نتكلم عن اليكترون «حقيقي» أو مجال مغناطيسي «حقيقي».

أما وجهة النظر «الوضعية» أو «الواقعية» للنظريات فإنها تخالف وجهة النظر السابقة (على الرغم مما بين هاتين المدرستين من اختلافات أحياناً، ولكن ليس من الضروري أن نخوض هنا في مثل هذه الاختلافات). إنهما يدافعان عن هذه الأطروحة: من المناسب والمريح سيكولوجياً أن نفكر في الأليكترونات والمجالات المغناطيسية والموجات التجاذبية بوصفها كيانات واقعية، حيث ان العلم يكشف عن خباياها أكثر فأكثر وبشكل ثابت. كما أنه ليس ثمة حد فاصل يفصل بين شيء يخضع للملاحظة كالتفاحة مثلاً، وبين شيء لا يخضع للملاحظة كالنيترون مثلاً. فالأميبا لا ترى بالعين المجردة ولكنها ترى من خلال مجهر مضيء. كما أن الفيروس لا يرى من خلال مجهر مضيء؛ ولكن يمكن رؤية بنيته وبدقة متناهية من خلال مجهر اليكتروني. ولا يمكننا رؤية بروتون بهذه الطريقة المباشرة، ولكن يمكن ملاحظة أثره من خلال غرفة معينة. فإذا كنا نسمح بالقول ان الأميبا شيء واقعي فليس هناك من سبب يدعونا إلى القول ان البروتون «غير واقعي» إذ ان اختلاف رؤيتنا لبنية الاليكترونات والجينات والأشياء الأخرى، لا يعني عدم وجود شيء ما يكمن خلف كل ظاهرة لا تخضع للملاحظة، وإنما يشير فقط إلى أن معرفتنا ببنية تلك الكيانات تزداد شيئاً فشيئاً.

كما أن المشايعين لوجهة النظر الوضعية ينبهوننا إلى أن الكيانات التي لا تخضع للملاحظة تنتقل عادة إلى مجال الملاحظة عندما تتطور أدوات الملاحظة وتصبح أكثر فعالية. ففي وقت من الأوقات كان «الفيروس» مجرد حد نظري. ويصدق نفس الشيء على «الجزيء» لدرجة أن إيرنست ماخ كان يعارض التفكير في الجزيء بوصفه شيئاً موجوداً، فقد أعلن ذات مرة أنه «محض خيال لا قيمة له». واليوم أمكن تصوير الذرات فوتوغرافياً في شبيكة بللورية عن طريق إطلاقها من الجسيمات الأولية، وهذا يعني أن الذرة نفسها أصبحت خاضعة للملاحظة. ويؤكد المدافعون عن وجهة النظر هذه أنك إذا قررت أن للذرة «وجوداً» تكون قد اصبت تماماً كما لو أنك قررت أن ثمة نجم بعيد. إذ إن الملاحظة هنا تقع على بقعة ضوء باهتة تظهر على لوح فوتوغرافي ممتد. ولا توجد بالطبع طريقة مماثلة تساعدنا على ملاحظة الاليكترون. ومع ذلك ليس ثمة سبب يدعونا إلى رفض وجوده. فعلى الرغم من أن القليل جداً هو الذي يعرف عن بنيته اليوم، إلا أنه ربما يعرف عنه الشيء الكثير جداً في الغد. ومن ثم فإن المدافعين عن وجهة النظر

الوضعية يؤكدون أنك إذا تحدثت عن الأليكترون بوصفه شيئاً موجوداً، فإنك تكون على صواب تماماً. كما لو أنك تتحدث عن تفاح ومناضد وجماعات بوصفها أشياء موجودة.

ويتضح من ذلك أن ثمة اختلافاً واضحاً بين المعاني التي يقصدها الذرائعي وبين الوسائل التي يستعين بها الواقعي في حديث كل منهما. ومن وجهة نظري ـ التي لن أتمكن من عرضها بدقة هنا ـ أن التعارض بين الأطروحتين هو في الحقيقة تعارض لغوي. فالمسألة هي، أي طريقة في الحديث تفضل في ظل مجموعة معطاة من الظروف. فإن تقول عن نظرية ما أنها أداة يعول عليها، ذلك معناه أن تخضع تنبؤات الحوادث الملاحظة للإثبات. وهو نفس الشيء تماماً عندما تقول عن نظرية ما أنها صحيحة وأن الكيانات النظرية التي لا تخضع للملاحظة موجودة. ومن ثم نجد أنه ليس ثمة تعارض بين أطروحة الذرائعي ونظيره الواقعي. أو على الأقل ليس ثمة تعارض فيما يتعلق بالجوانب السابقة مثل التقريرات السالبة التي على هذا النحو «. . . ولكن لم تحتو النظرية على قضايا صادقة أو كاذبة، كما أن الذرات والأليكترونات وما شابه ذلك ليس لها وجود بالفعل».

الفصل السَابع وَالعشرون

التحليلية في لغة ملاحظة

إن واحدة من أقدم المشكلات وأكثرها دواماً وانقساماً في تاريخ الفلسفة هي مشكلة الصدق التحليلي والصدق الواقعي. ولقد تم التعبير عن هذه المشكلة بوسائل عديدة مختلفة. فلقد تناولها كانط، كما هو مبين في الفصل الثامن عشر، في حدود ما أسماه القضايا «التحليلية» و «التركيبية»، كما تناولها من قبل أولئك الذين تحدثوا عن الصدق «الضروري» والصدق «الاتفاقي».

وبعد في رأيي، التمييز الحاسم بين التحليلي ـ التركيبي ذو أهمية فائقة في فلسفة العلم. فنظرية النسبية مثلاً، لم يكن مقدراً لها أن تشهد مثل هذا التطور، إذا لم يدرك آينشتين أنه لا يمكن تحديد بنية المكان ـ والزمان الفيزيائي بدون اختبارات فيزيائية. فلقد رأى بوضوح خط التقسيم الحاد الذي ينبغي الاحتفاظ به دائماً في الذهن، بين الرياضة البحتة بأنماطها المتعددة التي تعالج الهندسات المتسقة منطقياً، وبين الفيزياء التي يمكنها عن طريق التجربة والملاحظة فقط، أن تحدد أي الهندسات يمكن تطبيقها، بطريقة نافعة أكثر على العالم الفيزيائي. وبات التمييز بين الصدق التحليلي (الذي يشتمل على الصدق المنطقي والرياضي) وبين الصدق الواقعي، ذا أهمية قصوى اليوم بالمثل في نظرية الكم، لأن الفيزيائيين اكتشفوا طبيعة الجسيمات الأولية، وبحثوا لها عن نظرية مجال لربط ميكانيكا الكم بالنسبية. وسوف نركز اهتمامنا في هذا الفصل وما يليه، على مسألة كيف يمكن أن نجري على هذا التمييز القديم تحديداً دقيقاً كاملاً من خلال اللغة الصحيحة للعلم الحديث.

ومنذ عدة سنوات، تبين أن من المفيد تقسيم حدود اللغة العلمية إلى ثلاث مجموعات رئيسية:

١ ـ حدود منطقية تشتمل على كل حدود الرياضيات البحتة.

٢ ـ حدود ملاحظة أو حدود ـ م.

٣ ـ حدود نظرية أو حدود ـ ن (وتسمى في بعض الأحيان «بناءات»).

صحيح أنه ليس ثمة حد قاطع يفرق بين حدود ـ م وحدود ـ ن، كما سبق أن أكدنا في فصول سابقة، لأن اختيار خط تقسيم دقيق يعد عملاً تعسفياً إلى حد ما. إلا أن التمييز من وجهة النظر العملية يكون عادة مفيداً وواضحاً. لأن كل شخص سيوافق على أن الكلمات التي تقال عن الخواص مثل «أزرق» و«صلب» و«بارد»، وعن العلاقات مثل «أدفأ» و«أثقل» و«أنصع» تنتمي الى حدود ـ م، بينما تنتمي «الشحنة الكهربية» و«البروتون» و«المجال المغناطيسي» إلى حدود ـ ن. لأنها تشير إلى كيانات لا يمكن رصدها بطريقة بسيطة ومباشرة نسبياً.

وبالنسبة للجمل في لغة العلم هناك تقسيم ثلاثي مشابه: ـ

١ ـ جمل منطقية، وهي تلك التي لا تحتوي على حدود وصفية.

٢ ـ جمل ملاحظة، أو جمل ـ م، وهي تلك التي تحتوي على حدود ـ م دون حدود ـ ن.

٣ ـ جمل نظرية، أو جمل ـ ن، وهو تلك التي تحتوي على حدود ـ ن.

وتنقسم بدورها إلى قسمين: ـ

(أ) جمل مختلطة تحتوي على حدود كل من م، ن، و.

(ب) جمل نظرية خالصة وتحتوي على حدود ـ ن، دون حدود ـ م.

أما اللغة الكاملة للعلم، ل، فمن الملائم تقسيمها إلى قسمين، يحتوي كل قسم منهما على المنطق التام (أي الذي يشمل الرياضيات)، وهما يختلفان فقط من حيث عناصرهما الوصفية غير المنطقية:

١ ـ لغات ملاحظة، أو لغة ـ م (ل م)، وهي تلك التي تحتوي على الجمل المنطقية، وجمل ـ م، ولكن دون الحدود ـ ن.

٢ ـ اللغة النظرية، أو لغة ـ ن (ل ن)، وهي تلك التي تحتوي على الجمل المنطقية، وجمل ـ ن (مع أو بدون حدود ـ م بالإضافة إلى حدود ـ ن).

ويمكن تقديم الحدود ـ ن إلى لغة العلم عن طريق نظرية، أما ن فهي تعتمد على نوعين من المصادرات، نظرية أو مصادرات ـ ن، ومطابقة أو مصادرات ـ ط. كما أن مصادرات ـ ن ما

هي إلا قوانين نظرية، أو هي جمل ـ ن الخالصة، أما مصادرات ـ ط، التي هي قواعد المطابقة، فهي جمل مختلطة، خيط من حدود ـ ن، وحدود ـ م، وهي تؤلف ما أطلق عليه كامبل اسم معجم وصل اللغات الملاحظة والنظرية، كما سبق أن بينا، وما أطلق عليه رايشنباخ اسم التعريفات الإحداثية، وما هو في علم مصطلحات بريدجمان يسمى بالمصادرات الإجرائية أو القواعد الإجرائية.

وبهذه الخلفية، علينا أن نعود إلى مشكلة التمييز بين الصدق التحليلي والواقعي في لغة ملاحظة.

ولسوف نطلق على النوع الأول من الصدق التحليلي المصطلح، صدق منطقي أو «صدق ـ ق»، فتكون الجملة صادقة ـ ق إذا كانت صادقة من حيث صورتها ومعاني الحدود المنطقية المكونة منها. وعلى سبيل المثال، الجملة «إذا لم يكن الأعزب رجلاً سعيداً، إذن لن يكون الرجل السعيد اعزب. «وهي صادقة ـ ق لأننا نتعرف على صدقها من معرفة معانيها وطرق استخدام الكلمات المنطقية «إذاً» و «إذن» و «لا» و «يكون». وحتى إذا لم نعرف معاني الألفاظ الوصفية «أعزب» و «سعيد» و «رجل». تظل قضايا المنطق والرياضيات (المبادىء والنظريات) تنتمي إلى هذا النوع، (وذلك لأن الرياضة البحتة) أمكن ردها إلى المنطق عن طريق فريجة ورسل، وعلى الرغم من أن هناك بعض النقاط لهذا الرد لا تزال محل خلاف، إلا أننا لن نناقش هذه المسألة هنا).

ومن ناحية أخرى، وكما أوضح ويلارد، ف. أو. كواين «Willard V. O. Quine» فإن لغة الملاحظة غنية في الجمل التحليلية ومعناها أوسع بكثير من صدق ـ ق. ومن ثم لا يمكن نعت هذه الجمل بالصدق أو الكذب الا اذا فهمنا معاني الحدود الواقعية والمنطقية معاً. ومثال كواين الشهير على ذلك هو «لا يوجد أعزب، متزوج». فصدق هذه الجمل واضح كل الوضوح، فهو ليس موضوعاً لوقائع العالم العارضة، ولكن لا يمكن ان ينعت بالصدق بسبب صورته المنطقية فقط، وإنما بالإضافة الى معرفة معنى «لا» و«يكون» من الضروري أن نعرف ما يعنيه اللفظ «اعزب» و«متزوج». وفي هذه الحالة سوف يوافق كل فرد يتحدث الانجليزية على ان اللفظ «Bachelor» الذي هو «أعزب» له نفس المعنى الذي للجملة «رجل غير متزوج» ومرة أخرى، تكون هذه المعاني مقبولة لأنها توضح ان الجملة صادقة ليس بسبب طبيعة العالم، وإنما بسبب المعاني التي تحددها لغتنا للكلمات الموصوفة، وليس من الضروري حتى ان تفهم هذه المعاني فهماً كاملاً، ولكن من الضروري فقط ان نعرف أن معنى كل لفظ منهما يضاد الآخر، ذلك لأن الرجل لا يمكن ان يتصف بأنه أعزب وغير متزوج في نفس الوقت.

ولقد اقترح كواين، وأوافقه على اقتراحه هذا، أن الحد «التحليلي» لا بد أن يستخدم «للصدق المنطقي» بمعناه الواسع، أي المعنى الذي يحتوي على النموذج الذي ناقشناه تواً، وهو مثل جمل الصدق ـ ق. إذ إن الصدق ـ أ هو الحد الذي استخدمه للصدق التحليلي بهذا المعنى الواسع. ومن ثم تصبح كل جملة صدق ـ ق هي صدق ـ أ، على الرغم من أن كل صدق ـ أ ليست هي صدق ـ ق. لأن جملة صدق ـ ق تكون صادقة بسبب صورتها المنطقية وحدها، بينما جملة صدق ـ أ وليست صدق ـ ق تكون صادقة بسبب المعاني المحددة التي اتصفت بها حدودها، كما هو الحال تماماً بالنسبة إلى حدودها المنطقية. وعلى العكس من ذلك لا يتحدد صدق أو كذب قضية تركيبية بمعاني حدودها، وإنما بواسطة معلومة واقعية عن العالم الفيزيائي. فلا يمكن أن نقرر ما إذا كانت القضية «تسقط الأشياء على الأرض بسرعة ٣٢ قدماً في الثانية» صادقة أو كاذبة إلا إذا فحصنا ببساطة معناها تجريبياً. فالاختبار التجريبي هنا ضروري، لأن هذه القضية ومثيلاتها لها «محتوى واقعي» فهي تخبرنا عن شيء ما في العالم الواقعي.

ولا يوجد بالطبع لغة طبيعية، كالإنكليزية مثلاً، تكون من الدقة والاحكام إلى الدرجة التي يتمكن كل فرد من فهم كل كلمة فيها بنفس الطريقة، ولهذا السبب يسهل صياغة جمل غامضة من الناحية التحليلية، وهي تلك الجمل التحليلية أو التركيبية التي سوف نوليها عنايتنا.

افترض مثلاً هذا التقرير «كل نقاري الخشب ذوو الرؤوس الحمراء، لهم رؤوس حمراء» هل هذه الجملة تحليلية أم تركيبية؟ أو لا يمكنك الإجابة على هذا بأنها تحليلية طبعاً. لأن الجملة «نقارو الخشب ذوو الرؤوس الحمراء» تعني نفس الجملة «نقارو الخشب الذين لهم رؤوس حمراء» ولذلك فإن هذه الجملة تكافىء التقرير بأن كل نقاري الخشب ذوو الرؤوس الحمراء لهم رؤوس حمراء. ولا تنتمي الجملة إلى صدق ـ أ فحسب، وإنما تنتمي أيضاً إلى صدق ـ ق.

إذن فأنت على صواب إذا قلت إن «نقار الخشب أحمر الرأس» له نفس معنى «الذي له رأس أحمر» لأنه في الواقع مركب جوهري للمعنى. ولكن هل هو مركب جوهري حقاً؟ ربما يكون لدى عالم الطيور فهم آخر مختلف للجملة «نقار الخشب أحمر الرأس» فقد يشير الحد بالنسبة له إلى فصيلة طائر تم تعريفه عن طريق نمط بنية جسم معين، له شكل منقار، وعادات سلوكية معينة. وربما افترض أن جنس هذا الطائر قد عاش في إقليم ما منعزل فجرى عليه تحول فجائي كان سبباً في تغيير لون رأسه. قل، إلى اللون الأبيض. ولأسباب تصنيفية بحتة فقد أبقوا على تسميته «نقار الخشب أحمر الرأس» حتى على الرغم من أن رأسه لم تعد حمراء. وبما أن الجنس قد أصبح الآن مختلفاً فقد يشار إليه بوصفه «النقار ذو الرأس الأبيض ـ الرأس الأحمر ومن ثم

تصبح الجملة «نقار الخشب أحمر الرأس» ذات تركيب غير جوهري، فلم يعد تفسيرها «لأن له رأس أحمر» وبالتالي تتحول إلى جملة تركيبية، ويصبح من الضروري إجراء اختبار تجريبي على كل «نقاري الخشب ذوي الرؤوس الحمراء» لكي نحدد ما إذا كانت كلها في الحقيقة لها رؤوس حمراء .

بل إن القضية «إذا كان السيد سميث أعزباً، لما كانت له زوجة». نظروا إليها بوصفها قضية تركيبية، وذلك لأنها تشتمل على كلمات معينة يمكن لأي شخص أن يفسرها بطريقة غير مباشرة. إذ ربما يكون للكلمة «زوجة» معنى واسع عند المحامي مثلاً، فتدخل ضمن «القانون» العام للزوجات، كما أن المحامي إذا أراد أن يفسر كلمة «الأعزب» والتي تعني قانوناً رجل غير متزوج، كان عليه أن يتقصى حياة السيد سميث الخاصة لكي يفرق ما إذا كانت الجملة صادقة أم كاذبة.

وعلى أية حال يمكن أن نناقش المشكلة التحليلية من جهة لغة ملاحظة اصطناعية يمكن بناؤها عن طريق قواعد محكمة. وهذه القواعد ليست في حاجة إلى تحديد المعاني الكاملة لكل الألفاظ الوصفية في اللغة، وإنما تحدد معنى العلاقات التي تقوم بين ألفاظ معينة يفترض أن تكـون واضحة عن طريق قواعد أطلقت عليها ذات مرة اسم «معنى المسلمات» وأفضل الآن أن أسميها ببساطة أكثر «مسلمات ـ ت» (مسلمات تحليلية)، ويمكننا أن نتخيل الآن وبسهولة أكثر كيف أمكن إعطاء تحديدات كاملة لكل الألفاظ الوصفية في اللغة. إذ أمكننا مثلاً أن نحدد معاني «حيوان» و «طائر» و «نقار الخشب ذي الرأس الأحمر» عن طريق قواعد التعيين التالية:

(تع ١) يشير الحد «حيوان» إلى مجموعة الخواص التالية (١)...، (٢)......... (٣)...، (٤)...، (٥)... (توجد هنا قائمة كاملة عن خواص محددة يمكن افتراضها).

(تع ٢) ويشير الحد (طائر) إلى مجموعة الخواص التالية (١)...، (٢).........، (٣)... (٤)... (٥)... (وكما في تعريف ١ السابق).

زائد الخواص الإضافية (٦)...، (٧)...، (٨)...، (٩)....، (١٠)... (كل الخواص التي في حاجة إلى تعيين معنى «طائر»).

(تع ٣) يشير الحد «نقار الخشب ذو الرأس الأحمر» إلى مجمـوعة الخـواص التاليـة: (١)...، (٢)...، ...، (٥)... (كما في تـع ١) زائد (٦)...، (٧)...، ... (١٠)... (كما في تع ٢) زائد الخواص الإضافية (١١)...، (١٢)...، (١٣)...، (١٤)...، (١٥)... (أي كل الخواص التي في حاجة إلى تعيين معنى «نقار الخشب ذي الرأس الأحمر».

فإذا كتبت كل الخواص المطلوبة بمكان الفراغات الموضحة بالنقط، لكان من الواضح أن القواعد ستكون مطولة بشكل كبير جداً وبالتالي مربكة إلى حد بعيد. ولكنه قد يكون ضرورياً إذا كان التعيين الكامل لمعاني كل الألفاظ الموضعية في لغتنا الاصطناعية ملحاً. ولحسن الحظ، ليس من الضروري أن تمضي إلى مثل هذه التطويلات المملة، ونكتفي بتحديد مسلمات ـ ت لتعيين معنى العلاقات التي تنعقد بين الألفاظ الوصفية في اللغة. فعلى سبيل المثال يكفي أن نضع، بدلاً من القائمة السابقة، اثنين من المسلمات ـ ت على النحو التالي:

(ت ١) كل الطيور حيوانات.

(ت ٢) كل نقاري الخشب ذوي الرؤوس الحمراء طيور.

فإذا كانت لدينا قواعد التعريفات الثلاث، أمكننا اشتقاق اثنتين من مسلمات ـ ن منهم بسهولة. ولكن لأن هذه القواعد مربكة في الحقيقة إذن فليس من الضروري أن نصوغها أصلاً إذا كان غرضنا ينحصر في مجرد توضيح البنية التحليلية للغة، وإنما نكون في حاجة فقط إلى مسلمات ـ ن، فهي أبسط بكثير، وهي تمدنا بأساس كاف لإجراء تمييز بين القضايا التحليلية والقضايا التركيبية، في اللغة.

ولكن افترض أن اللغة الاصطناعية تأسست على لغة طبيعية للإنكليزية مثلاً، ورغبنا في أن نمدها بمسلمات ـ ت لكي نجعلها لغة ممكنة، أي لكي نحدد ما إذا كانت الجملة المفترضة، في كل حالة من الحالات تنتمي إلى اللغة التحليلية. الحقيقة أننا يمكننا، في بعض الحالات، أن نرجع إلى قاموس إنكليزي عادي لكل نحصل على مسلمات ـ ت. افترض هذه الجملة «إذا قذفت بزجاجة من نافذة، إذن لتحطمت الزجاجة» هل هذه الجملة تحليلية أم تركيبية؟ إذا اشتققنا المسلمة ـ ت من تعريف القاموس، لكانت على هذا النحو «تتحطم ن إذاً وفقط إذا قذفت ن من نافذة»، ويتضح في الحال أن القضية صادقة ـ ت (أي صادقة بالتعريف). وليس من الضروري أن نقذف بزجاجة بالفعل لكي نتأكد من أنها سوف تتحطم أم لا، لأن صدق القضية يلزم من معنى علاقات ألفاظها الوصفية باعتبارها متعينة بالمسلمة ـ ت.

وربما يكون القاموس من الدقة بحيث يمكنه أن يرشدنا إلى بعض الجمل، ولكنه لن يساعدنا كثيراً في بعضها الآخر. افترض مثلاً تلك التقريرات التقليدية المبهمة «الإنسان حيوان عاقل» و«الإنسان حيوان له ساقان وليس له ريش». إن الصعوبة الرئيسية هنا تكمن في الغموض الكبير الذي يكتنف كلمة «إنسان». أما في لغتنا الاصطناعية فلا نجد أي صعوبة لأن قائمة مسلماتنا ـ ت هي التي تقرر المسألة عن طريق الحكم. فإذا أردنا أن نوضح معنى «إنسان» «بالمعقولية» و «الحيوانية» باعتبارهما مركبين أساسيين لمعنى الكلمة، إذن لأدخلنا «الإنسان عاقل»

و «الإنسان حيوان» ضمن قائمة مسلمات ـ ت، وعلى أساس مسلمات ـ ت تصبح القضية «الإنسان حيوان عاقل» صادقة. أما إذا كانت مسلمات ـ ت بالنسبة «للإنسان» تشير فقط إلى البنية الجسدية الفيزيائية للإنسان، فإن القضية «الإنسان حيوان عاقل» تصبح في هذه الحالة تركيبية. وبالمثل إذا لم تتناول مسلمات ـ ت الحدين «بدون ريش» و «بساقين»، فإن هذا يشير إلى أنهما لا يدخلان ضمن المركبات الأساسية لمعنى اللفظ «إنسان» ومن ثم يصبح التقرير بأن الإنسان «ذو ساقين وبدون ريش» قضية تركيبية أيضاً. لأنه في لغتنا يظل الإنسان ذا الساق الواحدة إنساناً، كما أن الإنسان الذي ينمو على رأسه الريش يظل إنساناً أيضاً.

والنقطة الهامة التي يجدر بنا أن نفهمها هنا هي أن القائمة الأكثر إحكاماً لمسلمات ـ ت قد تم إنجازها بالفعل، كما أن التمييز الأكثر إحكاماً في لغتنا بين الجمل التحليلية والتركيبية يمكن إنجازه في المستقبل القريب. أما بالنسبة إلى اتساع القواعد الذي يجعل منها قواعد مبهمة أو ملتبسة، فلا بد أن نتوقع أن تكون اللغة المركبة منها تحتوي على جمل غامضة أيضاً من الناحية التحليلية، ولا يرجع هذا ـ وهذه نقطة أساسية ـ إلى أنها تفتقر إلى الوضوح في فهم التمييز بين ما هو تحليلي وما هو تركيبي، وإنما يكون ذلك بسبب الالتباس في فهم معاني الألفاظ الوصفية للغة.

وينبغي أن نضع نصب أعيننا دائماً أن مسلمات ـ ت لا تخبرنا بشيء عن العالم الواقعي على الرغم من أنها قد تبدو كذلك. فإذا افترضنا مثلاً أننا نرغب في أن نضع المسلمة ـ ت إلى الحد «أدفأ» لكي نبرهن على أن العلاقة في هذا الحد غير متماثلة نقول إنه «بالنسبة لأي م وأي ن، إذا كانت م أدفأ من ن، إذن لما كانت ن أدفأ من م»، أما إذا قرر شخص آخر أنه قد اكتشف الموضوعين أ و ب ووجد أن من طبيعة أ أن تكون أدفأ من ب، ومن طبيعة ب أن تكون أدفأ من أ، فإننا سوف نصاب بالدهشة ونعتبر ذلك اكتشافاً عجيباً، وقد نرد على ذلك بقولنا «لا بد أن مفهومك عن الكلمة أدفأ يختلف عن مفهومنا. بالنسبة لنا تعد هذه العلاقة لا متماثلة ومن ثم يصبح وصفك للحالة التي اكتشفتها وصفاً مستحيلاً. «ولأن المسلمة ـ ت تعيّن خاصية لامتماثلة للعلاقة «أدفأ» التي تتعلق فقط بمعنى الكلمة كما هي مستخدمة في لغتنا، فهي لا تقول شيئاً أياً كان عن طبيعة العالم الواقعي.

وفي السنوات القليلة الماضية تعرضت وجهة النظر التي تقول بإمكانية وضع تمييز دقيق بين القضايا التحليلية والتركيبية إلى هجوم شديد من كواين، ومورتون وايت Morton» «White وآخرين. بيد أن وجهة نظري الخاصة في هذا الموضوع قد عرضتها في ورقتين أعيد طبعهما في ملحق الطبعة الثانية لكتابي «المعنى والضرورة» عام ١٩٥٦ . تتعرض الورقة الأولى إلى «معنى المصادرات» وهي رد على كواين وتناولت فيها بطريقة صورية (ولقد تعرضت إلى ذلك هنا

ولكن بطريقة غير صورية) كيف يمكن إجراء تمييز دقيق للغة الملاحظة المركبة، وذلك عن طريق إضافة مسلمات ـ ت إلى قواعد اللغة. أما الورقة الثانية فكانت عن «المعنى والمترادف في اللغات الطبيعية» «Meaning and synonymy in Natural Languages» تناولت فيها كيف يمكن إجراء تمييز للغة المستخدمة بشكل عام في الحياة اليومية، مثل اللغة الإنكليزية. ولقد اعتمد التمييز هنا على بحث في عادات الحديث، أدى إلى ظهور مشكلات جديدة ناقشتها في الورقة، ولن نتعرض لها هنا.

ومما سبق يتضح أن التحليلية قد نوقشت على نطاق واسع، وبصفة خاصة من جهة اللغات الملاحظة، مثل اللغة الملاحظة في الحياة اليومية، وفي العلم، وأيضاً لغـة الملاحظة المركبة عند فيلسوف العلم. والواقع أنني لا زلت عند قناعتي بأن التمييز بين التحليلية والتركيبية في لغة ملاحظة قد تم حلها مبدئياً. بل وأكثر من ذلك لدى اعتقاد راسخ بأن الغالبية العظمى من العلماء يتفقون على أهمية هذا التمييز في اللغة الملاحظة للعلم. وأياً كان الأمر إذا انتقلنا إلى البحث عن لغة نظرية للعلم، فإننا سوف نواجه بصعوبات بالغة، وسوف نعرض في الفصل التالي بعض هذه الصعوبات واضعين في اعتبارنا الطرق الممكنة للتغلب عليها.

الفصل الثامن والعشرون

التحليلية في لغة نظرية

قبل أن أخوض في شرح كيف اعتقد بأن التمييز التحليلي ـ التركيبي يمكن أن يُجرى بوضوح فيما يختص باللغة النظرية للعلم، يجدر بنا أولاً أن نتفهم الصعوبات الشديدة المتضمنة، وكيف أنها تنشأ من حقيقة أن حدود ـ ن (الحدود النظرية) لا يمكن أن تعطي توضيحات كاملة. أما في اللغة الملاحظة، فإن هذه المشكلة لا تنشأ أصلاً. إذ انها تفترض أن جميع علاقات المعنى بين الحدود الوصفية للغة الملاحظة يتم التعبير عنها بمسلمات ـ أ المناسبة، كما هو مبين في الفصل السابق. أما بالنسبة إلى حدود ـ ن، فإن الموقف يختلف تماماً، لأنه لا يوجد توضيح إمبيريقي كامل لحدود مثل «اليكترون» «كتلة» و «مجال مغناطيسي» صحيح أنه يمكن ملاحظة وتفسير الآثار الناتجة عن مرور اليكترون في غرفة الفقاعة «Bubble Chamber»، إلا أن مثل هذه الملاحظات تمدنا فقط بتوضيحات امبيريقية جزئية وغير مباشرة للحدود ـ ن التي ترتبط معها.

افترض مثلاً الحد النظري «درجة الحرارة» المستخدم في النظرية الحركية للجزيئات، فلا بد أن تكون مصادرات ـ ط (قواعد المطابقة) هي التي تربط هذا الحد بطريقة استخدام الترمومتر مثلاً. فبعد أن يوضع الترمومتر في سائل، فإننا نوجه أنظارنا إلى قراءة الدرجة، وتربط مصادرات ـ ط هذا الإجراء بالحد ـ ن «درجة الحرارة» بطريقة تجعل من قراءة الدرجة تفسيراً جزئياً للحد فقط، وهو جزئي لأن هذا التفسير الخصوصي «للدرجة الحرارة» لا يمكن استخدامه في كل جمل النظرية التي يظهر فيها الحد. إذ إن الترمومتر العادي يعمل فقط على مسافة صغيرة من مقياس درجة الحرارة. وهناك درجات حرارة منخفضة تجعل أي سائل خاضع للاختبار يتجمد، كما أن هناك درجات حرارة مرتفعة تجعل أي سائل خاضع للاختبار يتبخر وبالنسبة لدرجات الحرارة هذه ينبغي أن تستخدم طرق مختلفة تماماً للقياس. وفي كل طريقة من هذه الطرق، ترتبط

مصادرات ـ ط بالمفهوم النظري لدرجة الحرارة «ولا يمكن أن يقال في هذه الحالة أن المعنى الامبيريقي «لدرجة الحرارة» فارغ. لأنه يمكن إجراء ملاحظات جديدة في المستقبل، بمصادرات ـ ط جديدة أيضاً فنحصل على تفسير امبيريقي أفضل للمفهوم.

والحقيقة أن همبل، في الجزء السابع من مقالته «طريقة صياغة المفهوم في العلم» «دائرة معارف العلوم الموحدة، ١٩٥٣» قد رسم صورة لبنية النظرية تستحق الذكر:

ربما تكون النظرية العملية شبيهة بشبكة متسعة معقدة، يمكن تمثيل حدودها بالعقد، بينما تربط جزءاً من الطرف الأخير، الذي هو التعريفات، وجزءاً آخر، الذي هو الفروض الأساسية والمشتقة المتضمنة في النظرية. أما النظام الكلي فهو يطفو، كما كان، فوق سطح مستو من الملاحظة، ويرسو عليه عن طريق قواعد التوضيح وينبغي النظر إلى هذه بوصفها خيوطاً، لا تكون جزءاً من الشبكة، وإنما هي تربط أجزاء معينة من الطرف الأخير مع أماكن معينة في السطح المستوي للملاحظة. وبفضل هذه الروابط الموضحة، يمكن أن تؤدي الشبكة وظيفتها باعتبارها نظرية علمية: ومن معطيات ملاحظة معينة، نستطيع أن نرتقي عن طريق خيط توضيحي، إلى نقطة ما في الشبكة النظرية، ومن ثم نتقدم، عن طريق تعريفات وفروض إلى نقاط أخرى، ومنه يسمح الخيط التوضيحي الآخر، بالنزول إلى السطح المستوي للملاحظة[1].

والمشكلة هي أن نعثر على وسيلة للتمييز ـ في اللغة التي تتحدث عن هذه الشبكة المعقدة ـ بين الجمل التي تكون تحليلية وتلك التي تكون تركيبية. لأن من السهل أن نعرف جمل صدق ـ ت، التي تُعد صادقة من جهة صورتها المنطقية «إذا كان لكل الاليكترونات عزائم مغناطيسية، ولم يكن للجسيم م عزم مغناطيسي، إذن لما كان الجسيم م اليكترونا» ومن الواضح أن هذه الجملة تعد صدق ـ ق، إذ ليس من الضروري أن نعرف أي شيء عن معاني حدودها الوصفية، لكي نعرف أنها صادقة. ولكن كيف يتم التمييز بين الجمل التحليلية (التي تكون صادقة من جهة معاني حدودها ومشتملة على حدود وصفية)، وبين الجمل التركيبية (التي لا يمكن تقرير صدقها دون ملاحظة العالم الواقعي)؟

ولكي نتعرف على قضايا تحليلية في لغة نظرية، من الضروري أن نحوز على مسلمات ـ أ التي تعين معنى العلاقات التي تنعقد بين الحدود النظرية. وتكون القضية تحليلية، إذا كانت نتيجة منطقية لمسـات ـ أ، كما تكون صادقة، إذا لم تتطلب ملاحظة العالم الواقعي، أي إذا

(١) الاقتباس من كارل ج، همبل، الانسيكلوبيديا العالمية لوحدة العلم، مجلد، رقم ٧٠: أوليات صياغة المفهوم في العلم الامبيريقي. (شيكاغو: دار نشر جامعة شيكاغو) ١٩٥٢، ص ٣٢ ـ ٣٨.

تجنبت المضمون الواقعي وهي صادقة فقط من جهة معاني حدودها، مثل تلك القضية التي تقرر «ليس ثمة أعزب متزوج» فهي صادقة من جهة المعاني الخاصة بكلمتي «أعزب» و«متزوج»، ويمكن التحقق من هذه المعاني بإحكام عن طريق اللغة الملاحظة كيف يمكن صياغة مسلمات ـ أ المقارنة لكي تتماثل مع القضايا التحليلية في لغة نظرية مشتملة على حدود نظرية تفتقر إلى تفسيرات كاملة؟

ربما يعتقد من الوهلة الأولى، أن مسلمات ـ ن وحدها هي التي يمكن أن تستخدم بوصفها مسلمات ـ أ. صحيح أنه يمكن بناء نظرية استنباطية عن طريق إدماج مسلمات ـ ن بالمنطق والرياضيات، ولكن النتيجة المتوقعة هي وجود نسق استنباطي مجرد، تصبح الحدود النظرية فيه مفتقرة حتى إلى التفسير الجزئي. والهندسة الاقليدية مثال مألوف على ذلك، انها بناء غير مفسر للرياضيات البحتة. ولكي تصبح نظرية علمية ينبغي أن تكون حدودها الوصفية مفسرة، على الأقل جزئياً. وهذا يعني أنه ينبغي أن يكون لحدودها معانٍ امبيريقية، ولن يتأتى ذلك بالطبع، إلا عن طريق قواعد المطابقة التي تربط حدودها الأولية بظواهر العالم الفيزيائي. ولهذا السبب تتحول الهندسة الاقليدية إلى هندسة فيزيائية. فتقول إن الضوء يتحرك في قطع مستعرض «خطوط مستقيمة»، والكواكب تتحرك في قطع ناقص «اهليلجي» حول الشمس. وعندما يتم توضيح البنية الرياضية المجردة (ولو على الأقل جزئياً)، وذلك عن طريق مسلمات ـ ق، فلن تنشأ المشكلة السيمانطيقية التي تعني بتمييز القضايا التحليلية من القضايا التركيبية. ولا يمكن أن تستخدم مسلمات ـ ن النظرية بوصفها مسلمات ـ أ، لأنها تفشل في أن تمدنا بحدود ـ ن بالمعنى الامبيريقي.

ولكن هل يمكن أن تستخدم مسلمات ـ ق لتمدنا بمسلمات ـ أ؟ لا يمكن بالطبع استخدام مسلمات ـ ق وحدها. ولكي نحصل على أكثر توضيح ممكن للحدود ـ ن (على الرغم من أنه يظل جزئياً فقط)، لكان من الضروري الاستعانة بالنظرية الكاملة، ودمجهما مع مسلمات ق و أ. هب أننا فرضنا سلفاً النظرية الكاملة، فهل تؤسس مصادرات ن، ق، المصادرات ـ أ التي نبحث عنها؟ كلا، اننا قد افترضنا سلفاً الشيء الكثير جداً، وحصلنا حقاً على كل معنى امبيريقي استطعنا أن نحصل عليه لحدودنا النظرية، ولكننا حصلنا أيضاً على معلومة واقعية. ولذلك إذا دمجنا مسلمات ـ ن، ق، حصلنا على قضايا تركيبية. وكما رأينا، لا يمكن أن تزود مثل هذه القضايا مسلمات ـ أ.

إليك مثالاً يوضح لك هذا. افترض أننا نقول عن مسلمات ـ ن، ق الخاصة بالنظرية العامة للنسبية أنها سوف تخدم مسلمات ـ أ المماثلة للجمل التحليلية في النظرية. فإننا بمساعدة

مسلمات ـ ن، ق وبمعاونة المنطق والرياضيات، سوف نستنبط أن الضوء الصادر من النجوم سوف يكون منحرفاً بسبب المجال الجاذبي للشمس. ألا يمكننا القول إن هذه النتيجة تحليلية، وأنها صادقة فقط من جهة معانيها الامبيريقية التي سبق أن أشرنا إليها، لكل الحدود الوصفية؟ لا نستطيع ذلك، لأن النظرية العامة للنسبية تزودنا بتنبؤات شرطية عن العالم ولا يمكن إثباتها أو رفضها إلا عن طريق الاختبارات الامبيريقية.

افترض مثلاً القضية التي سوف نرمز إليها بالقضية أ، «هاتان اللوحتان الفوتوغرافيتان تصوران نفس نموذج النجوم. أخذت الأولى أثناء الكسوف الكلي للشمس، عندما كان قرص الشمس مغطى في داخل النجم. وأخذت الثانية عندما لم تكن بالقرب من هذا النموذج «أما القضية ب فهي «أن صور النجوم القريبة جداً من الشمس المكسوفة سوف تزاح قليلاً من مواضعها في اتجاه بعيد عن الشمس كما هو مبين في اللوحة الثانية» ولا شك أن القضية التي تأخذ صورة التقرير الشرطي» إذا كانت أ اذن ب» يمكن أن تشتق من النظرية العامة للنسبية، ولكنها تعد أيضاً قضية يمكن اختبارها بالملاحظة، وكما ذكرنا في الفصل السادس عشر، كان أول من أجرى الاختبار التاريخي لهذا التقرير هو فيندلاي فروندليتش سنة ١٩١٩ وعرف أن أ صادقة، وبعد قياسات دقيقة لمواضع الضوء على اللوحتين، وجد أن ب صادقة أيضاً. وإذا كان قد وجد أن ب كاذبة، لكان في الإمكان تكذيب القضية الشرطية «إذا كانت أ، إذن ب» وبالتالي فإن هذا سوف يدحض نظرية النسبية التي اشتقت منها القضية الشرطية «إذا كان أ، إذن ب» ومن ثم لا بد أن يكون هناك محتوى واقعي لتأييد النظرية التي تقرر أن ضوء النجم ينحرف عن طريق المجالات الجاذبية.

ولنتناول نفس النقطة ولكن بصورية أكثر. بعد أن نعين لنظرية النسبية المسلمات ـ ن، ق يمكننا أن نشتق على أساس مجموعة المقدمات المفترضة أ في اللغة الملاحظة، مجموعة أخرى من القضايا ب، التي تعد أيضاً في لغة ملاحظة. ولذلك تصبح القضية «إذا كانت أ إذن ب» نتيجة منطقية باتحاد ن و ق. فإذا أخذت ن و ق بوصفهما مسلمات ـ أ، فمن الضروري أن نعتبر القضية «إذا كانت أ إذن ب» تحليلية. ولكن من الواضح أنها ليست كذلك، وإنما هي قضية تركيبية في لغة ملاحظة، تكذب عندما يتبين من ملاحظة العالم الواقعي أن أ صادقة و ب كاذبة.

ولقد أشار كواين وفلاسفة علم آخرون إلى أن الصعوبات هنا كبيرة، لدرجة أنها تنقسم إلى تحليلية ـ تركيبية، ولا يمكن مطابقتها على لغة العلم النظرية. ومنذ عهد قريب جداً، عرض

همبل وجهة النظر هذه، بشكل واضح جداً(*). كان همبل ميالاً، ولكن ربما بتردد، إلى قبول الانقسام من جهة اللغة الملاحظة، شاخصاً بناظريه إلى نفعهما من جهة اللغة النظرية، معلناً بقوة المذهب الشكي عند كواين. إذ أكد على أن الدور المزدوج لمسلمات ـ ن، ق تجعل مفهوم الصدق التحليلي الخاص بلغة نظرية مراوغاً تماماً. واعتقد أنه من الصعوبة بمكان تخيل وجود شرخ في هاتين الوظيفتين الخاصتين بمسلمات ـ ن، ق، لأنه يمكن أن يقال في هذه الحالة أن هذا الجزء منهما إنما يسهم في توضيح المعنى، ومن ثم إذا كانت القضايا التي تعتمد على هذا الجزء صادقة، فهي تصدق بسبب معناها فقط، طالما ظلت القضايا الأخرى، قضايا واقعية.

وثمة طريقة في غاية الأهمية لحل، أو بالأحرى لتجنب كل المشكلات الصعبة المرتبطة بالحدود النظرية وهي تلك التي اقترحها رامسي. وكما أوضحنا في الفصل السادس والعشرين، يمكن أن نذكر مضمون نظرية تختص بالملاحظة الكلية في جملة معلومة مثل جملة رامسي (ن ق) لا تظهر فيها سوى الحدود التي تختص بالملاحظة والحدود المنطقية وربما يقال إن الحدود النظرية «مسورة باستمرار» لأنه ليس ثمة حدود نظرية) ولا لغة نظرية. ومن ثم تختفي مشكلة تعريف التحليلية بالنسبة إلى اللغة النظرية. وأياً ما كان الأمر، تعد هذه الخطوة جذرية أيضاً. وكما بينا من قبل أن التخلي عن الحدود النظرية بالنسبة للعلم يؤدي إلى تعقيدات ومتاعب كثيرة لأن الحدود النظرية تبسط وتسهل مهمة صياغة القوانين إلى حد كبير ولهذا السبب وحده لا يمكن استبعادها من لغة العلم.

وأعتقد أن ثمة وسيلة لحل المشكلة عن طريق استخدام جملة رامسي، ولكن أن نفعل ذلك بطريقة لا تجبرنا على الأخذ بخطوة رامسي النهائية والحاسمة وإنما يكون ذلك عن طريق إجراء تمييزات معينة؛ تمكننا من الحصول على الانقسام المطلوب بين الصدق التحليلي والتركيبي في اللغة النظرية، ونتمكن في نفس الوقت من الاحتفاظ بكل الحدود النظرية، وجمل أية نظرية.

ولقد سبق أن أولينا اهتمامنا بقدر ما إلى نظرية تحتوي على «جملتين»: جملة ن، تشتمل على جميع مصادرات ـ ن، وجملة ق تشتمل على جميع مصادرات ـ ق. أما النظرية ن ق فهي تضم هاتين الجملتين.

(*) أنظر ورقتي همبل «إحراج الباحث النظري» «The Theoreticians Dilemma» للناشرين ميشيل سكريفن، وجروفر ماكسويل. دراسات مينسوتا في فلسفة العلم (مينوبوليس) مينسوتا: دار نشر جامعة منسوتا، ١٩٥٦) المجلد ٢، و «التضمنات في أعمال كارناب الخاصة بفلسفة العلم» «Implications of Carnap's work for the philosophy of science». للناشر بول أرثر شليب، فلسفة روولف كارناب (لاسال، ٣ أوبن كورت) ١٩٦٣.

ولسوف أقترح طريقة أخرى نستطيع عن طريقها أن نشطر النظرية ن ق إلى جملتين، إذا اقترنتا فإنهما تكافئان النظرية. وهي تنقسم إلى الجملة أ ن والجملة و ن. والمقصود بالجملة أ ن انها تستخدم مثلما تستخدم مسلمات ـ أ في جميع الحدود النظرية الخاصة بالنظرية، وهي تتجنب بالطبع، وبشكل كامل المحتوى الواقعي. أما الجملة و ن فإن المقصود بها أنها تكون جملة تعبر بشكل كامل عن شيء مختص بالملاحظة أي عن المضمون الواقعي للنظرية. وكما أوضحنا من قبل لا تفعل جملة رامسي ذاتها ر ن ق هذا الأمر تماماً، وإنما هي تعبر، في لغة ملاحظة، تتسع لتشمل كل الرياضيات ـ عن كل شيء تقرره النظرية عن العالم الواقعي، وهي لا تمدنا بأي توضيح عن الحدود النظرية، لأن مثل هذه الحدود لا تظهر في الجملة، ومن ثم، فإن جملة رامسي ر ن ق تؤخذ بوصفها مسلمة واقعية و ن.

فإذا أخذنا الجملتين أ ن، و ن معاً، إذن ينبغي أن يتضمنا منطقياً النظرية الكاملة ن ق. فكيف يمكن صياغة الجملة أ ن بحيث تحقق مثل هذه المتطلبات؟ بالنسبة لأي جملتين جـ ١، جـ ٢، تعد الجملة الأضعف التي تتضمن منطقياً جـ ١، جـ ٢ معاً، تقريراً تقليدياً، وهو «إذاً جـ ١، إذن جـ ٢». وفي صورة رمزية، يتم التعبير عن ذلك بالرمز المعتاد للتضمن المادي «جـ ١ ⊂ جـ ٢». وهكذا فإن الوسيلة الأبسط لصياغة مسلمة ـ أ التي هي أ ن وبالنسبة للنظرية ن ق، هي:

(أ ن) ن ق ⊂ ن ق

ويمكن أن نتبين ببساطة أن هذه الجملة فارغة واقعياً، فهي لا تخبرنا بشيء ما عن العالم. وإنما كل المحتوى الواقعي يكمن في الجملة و ن(*) التي تعد في حقيقتها جملة رامسي ر ن ق. وتؤكد الجملة أ ن ببساطة أنه إذا كانت جملة رامسي صادقة، إذن لكان علينا أن نفهم الحدود النظرية بطريقة تجعل من النظرية الكاملة صادقة أيضاً. إذ انها جملة تحليلية خالصة، لأن صدقها السيمانطيقي يعتمد على المعاني المقصودة الخاصة بالحدود النظرية. وهذا التقرير موصول بجملة رامسي ذاتها، ومن ثم فإن ت (**) سوف تتضمن النظرية الكاملة.

دعنا نرى الآن، كيف تمدنا المسلمة ـ أ الغريبة وهي ر ن ق ⊂ ن ق بوسيلة للتمييز بين القضايا التحليلية والقضايا التركيبية في لغة نظرية. معروف أن جملة رامسي تركيبية ويمكن أن يتأسس صدقها فقط عن طريق الملاحظة الواقعية للعالم، ولكن أية قضية ت ـ تتضمن المسلمة ـ أ

(*) يرمز الرمز و هنا إلى الحد «واقعي». (المترجم).

(**) يرمز الرمز ن هنا إلى القضايا التحليلية. (المترجم).

المفترضة سوف تكون تحليلية.

وهنا، وكما هو الحال مع الجمل التحليلية في لغة ملاحظة، تشير المسلمة ـ أ إلى معنى واسع عندما تتحدث عن شيء ما في العالم. ولكن بالمعنى الدقيق أنها تفتقر إلى ذلك. إذ ان المسلمة ـ أ تذكر أنه إذا كانت توجد كيانات (وهي تلك التي يشار إليها بالأسوار الوجودية في جملة رامسي) بحيث تكون من النوع الذي يرتبط معاً عن طريق كل العلاقات التي يتم التعبير عنها في المسلمات النظرية الخاصة بالنظرية والتي ترتبط بكيانات ملاحظة عن طريق كل العلاقات المتعينة بالمسلمات المطابقة للنظرية، حينئذ تكون النظرية في حد ذاتها صادقة. ويبدو هنا أن المسلمة ـ أ تخبرنا بشيء ما عن العالم، ولكن الحقيقة أنها لاتفعل ذلك. فهي لا تخبرنا عما إذا كانت النظرية صادقة، أو أن هذه هي الوسيلة التي يوجد عليها العالم، وإنما هي تقرر فقط أنه إذا كان العالم يسلك بهذه الطريقة، فينبغي فهم الحدود النظرية بوصفها حدوداً مرضية للنظرية.

ولقد أوردنا في الفصل السادس والعشرين مثالاً لنظرية تحتوي على ستة مفاهيم نظرية، أعني فئتين وأربع علاقات. وكانت الصياغة النسقية المفترضة (والتي كان يشار إليها ببساطة بالنقاط) للنظرية ن ق وجملتها الرمسية هي ر ن ق. وبالنظر إلى المسلمة ـ أ في هذا المثال، فإنه يمكن صياغتها على النحو التالي:

(أ ن) (ق ١ ∃) (ق ٢ ∃) (ل ١ ∃) (ل٢ ∃) (ل ٣ ∃) (ل ٤ ∃)

[. . . ق ١ . . . ق ٢ . . . ل ١ . . . ل ٢ . . . ل ٣ . . . ؛ . . . ق ١ . . . و ١ . . . و ٢ . . . و ٣ . . . ل ٢ . . . و ٤ . . . وم . . .] ⊂

[. . . جز . . . هايجز . . . ح . . . ض . . . ك . . . س . . . ، . . . ح . . . و ١ . . . و ٢ . . . و ٣ . . . ض . . . و ٤ . . . وم . . .].

ويقرر هذاأنه إذا كان العالم على هذا النحو فثمة ستة أضعاف للكيانات على الأقل (فئتين وأربع علاقات) ترتبط فيما بينها وأن الكيانات الملاحظة المتعينة بالنظرية هي (و ١، و ٢ . . . و م)، ومن ثم فإن الكيانات النظرية جز، هايجز، ح، ض، ك، س، تشكل السدس الذي يرضي النظرية. ومن الأهمية بمكان أن ندرك أنها ليست قضية واقعية تقرر أنه تحت الشروط السالفة فإن الكيانات الستة تعمل بوصفها موضوعاً لواقعة ترضي النظرية. لأن الحدود النظرية الستة لا تسمى كيانات ستة متعينة. إذ قبل أن توضع المسلمات ـ ك التي هي أ ن، لم يكن لهذه الحدود أي تفسير، حتى ولو كان جزئياً. وهكذا فإن المسلمة تقرر أنه إذا كان هناك واحد أو أكثر من المضاعفات الستة للكيانات التي ترضي النظرية، فإن الحدود النظرية الستة يمكن أن تفسر

بوصفها إشارة إلى كيانات ستة تشكل ستة مضاعفات ذلك النوع. وإذا كان هناك في الواقع ستة أضعاف ذلك النوع، إذن لأعطت المسلمة تفسيراً جزئياً للحدود النظرية، وذلك عن طريق تحديد المضاعفات الستة المسموح بها للإشارة إلى المضاعفات الستة لهذا النوع. وإذا لم يكن هناك، من ناحية أخرى المضاعفات الستة لهذا النوع. وبكلمات أخرى إذا كانت جملة رامسي كاذبة، إذن لكانت المسلمة صادقة بقطع النظر عن تفسيراتها (لأنه إذا كانت «أ» كاذبة إذن تكون أ ⊂ ب صادقة) ومن ثم فإن هذا لا يعطي تفسيراً حتى ولو كان جزئياً للحدود النظرية.

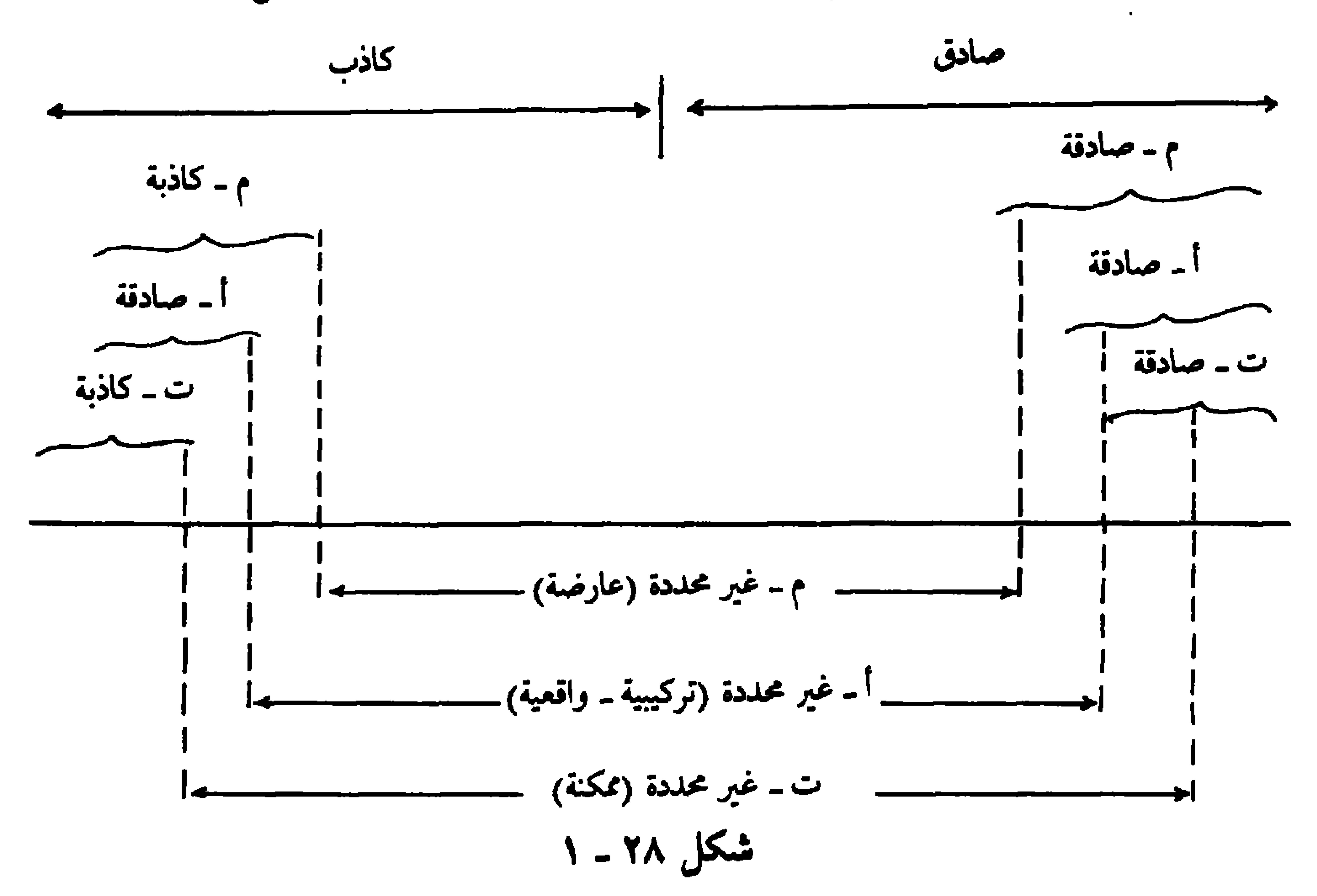
ومرة أخرى، كل هذا مفهوم بشكل تام، وليس هناك مانع من أخذ القضية الشرطية ر ن ق ⊂ ن ق، بوصفها المسلمة ـ أ الخاصة بـ ن ق بنفس الطريقة التي تؤخذ فيها مسلمات ـ أ في اللغة الملاحظة. فكما تخبرنا المسلمة ـ أ في اللغة الملاحظة بشيء ما عن معنى الحد «أدفأ» فإن المسلمة ـ أ في اللغة النظرية تخبرنا أيضاً بمعلومة ما عن الحدود النظرية، مثل «أليكترون» و «مجال كهرومغناطيسي». وتسمح لنا هذه المعلومة بالتناوب أن نكتشف أن الجمل النظرية المعينة تحليلية، أعني تلك التي تستتبع من المسلمة أ الخاصة بـ أ ن.

والآن يمكننا أن نقرر باحكام ما نعنيه بصدق ـ أ في اللغة الكلية للعلم. فتكون الجملة صدق ـ أ إذا كانت مسمنة ـ ت عن طريق ضم مسلمات ـ أ في اللغة الملاحظة، بمسلمات ـ أ الخاصة بأي لغة نظرية مفترضة. وتكون الجملة كذب ـ أ إذا كان نفيها هو صدق ـ أ، أما إذا كانت لا صدق ـ أ ولا كذب ـ أ فإنها تكون تحليلية.

وأنني أستخدم الحد «صدق ـ م» ـ أي الصدق الذي يعتمد على المسلمات ـ للإشارة إلى ذلك النوع من الجمل التي إذا وفقط إذا كانت ت ـ متضمنة بواسطة المصادرات، أعني أن تكون المصادرة ـ ر (جملة رامسي) مشتملة على كل من مصادرات ـ أ الملاحظة والنظرية معاً. وبكلمات أخرى، يعتمد صدق ـ م على ثلاث مسلمات (ر ن، أ و، أ ن، ولكن لا ن ر ن و أ ن تكافئان ن ق، ينبغي أن تكون الصورة الأصلية للنظرية ممثلة تماماً لكل المصادرات بما فيها ن ق و أ و.

وعلى أساس الأنواع المختلفة للصدق والتي تم تعريفها، والأنواع المطابقة للكذب، نحصل على تصنيف عام للجمل الخاصة باللغة العلمية. ويمكننا أن نرسم هذا رسماً بيانياً كما هو مبين في الشكل ٢٨ ـ ١. وهذا التصنيف يقطع بالعرض التقسيم السابق للغة إلى منطقية، وملاحظة ونظرية، والجمل المختلطة التي سبق أن ذكرناها، والتي تعتمد على أنواع الحدود الحادثة في الجمل. وكما سيلاحظ القارىء أن الحد التقليدي «تركيبي» يوضع في القائمة كبديل لـ أ ـ غير المحددة. ويبدو هذا طبيعياً، لأن الحد صدق ـ أ كان مستخدماً لذلك المفهوم الذي تم تعريفه

بوصفه تفسيراً للحد المعتاد «تحليلي» (أو «صادق تحليلياً»). ومن ناحية أخرى؛ ينطبق الحد م - غير المحدد على فئة أضيق، أعني على أ - غير المحددة، أي الجمل «التركيبية»، حيث لا يتحدد الصدق أو الكذب حتى عن طريق مسلمات ن ق النظرية كما هو الحال مثلاً في القوانين الأساسية للفيزياء أو أي مجال آخر في العلم. هنا يفرض الحد «عارض» نفسه كبديل.



شكل ٢٨ - ١

ولا أود أن أكون دجماطيقياً فيما يتعلق ببرنامج هذا التصنيف، وبصفة خاصة فيما يتعلق بتعريف صدق - أ الذي يعتمد على المسلمة - أ المقترحة. وإنما أقدمها بالأحرى كحل مؤقت غير نهائي لمشكلة تعريف التحليلية بالنسبة للغة نظرية. وعلى الرغم من أنني فيما سبق لم أشارك تشاؤم كواين وهمبل، إلا أنني اعترفت دائماً أنها تعد مشكلة خطيرة، وأن من الصعب أن نجد لها حلاً مرضياً في القريب العاجل، كما أنني اعتقدت للحظة أننا ربما نخضع أنفسنا لأخذ عبارة تحتوي على حدود نظرية، وحدود لا تخضع للملاحظة على أنها عبارة تحليلية فقط، تحت شرط أكثر ضيقاً وبالكاد تافها بأنها تصبح ت - صادقة مثل «إما أن يكون الجسيم اليكتروناً أو لا يكون أليكتروناً»؛ وأخيراً وبعد سنوات عديدة من البحث وجدت أن هذا يعد منفذاً جديداً، ومع مسلمة - أ الحديثة، لم تكن ثمة صعوبات قد اكتشفت بعد في هذا المنفذ الجديد. وأنني لعلى قناعة الآن أن ثمة حلاً، وحتى إذا ظهرت صعوبات، فلسوف يكون في الإمكان التغلب عليها.

* * *

القسم السادس: مَاوَراء الحَتمية

الفصل التَاسِعَ والعشرون

القوانين الاحصائية

في الماضي، كان فلاسفة العلم يولون اهتماماً كبيراً بمسألة: «ما هي طبيعة السببية»؟ ولقد حاولنا أن نوضح في الفصول السابقة. لماذا لم تعد هذه أفضل وسيلة لصياغة المشكلة. ومهما كان نوع السببية، فهناك في العالم ما يتم التعبير عنه بواسطة قوانين العلم. وإذا كنا نرغب في أن ندرس السببية، فليس أمامنا إلا أن نفحص تلك القوانين، وذلك عن طريق دراسة طرق صياغتها وكيفية تأييدها أو عدم تأييدها بالتجربة.

ولقد اتضح من فحص قوانين العلم، أن من المناسب التمييز بين القوانين التجريبية، التي تتعامل مع المرصودات، وبين القوانين النظرية التي تتعلق باللامرصودات. وكما رأينا برغم عدم وجود خط فاصل يفصل بين المرصودات واللامرصودات وبالتالي عدم وجود خط فاصل بين القوانين التجريبية والقوانين النظرية، إلا أن التمييز مع ذلك يكون مفيداً. أما التمييز الآخر الهام والمفيد في نفس الوقت، فهو ذلك التمييز الذي يفرق بين القوانين التجريبية والنظرية من جهة والقوانين الحتمية الإحصائية من جهة أخرى. ولقد سبق أن تناولنا هذا التمييز من قبل، ولكننا سوف نتناوله هنا بتفصيل أكبر.

إن القانون الحتمي هو ذلك القانون الذي يقرر أنه تحت شروط معينة، تحدث أشياء معينة. وكما تبين لنا من قبل إما أن يصاغ هذا القانون صياغة كيفية أو يصاغ صياغة كمية. فالتقرير بأن قضيب الحديد يزداد طوله عند تسخينه، إنما هو تقرير كيفي. أما التقرير بأن قضيب الحديد يزداد طوله بمقدار معين عند تسخينه بدرجة حرارة معينة، فهو تقرير كمي. والقانون الحتمي الكمي ينص دائماً على أنه إذا كان لمقدار معين قيم معينة، فإن مقداراً آخر (أو واحداً من

مقادير أخرى في زمن آخر مختلف) سوف تكون له قيمة معينة. وبالاختصار يعبر القانون عن علاقة وظيفية بين قيم مقدارين أو أكثر.

أما القانون الإحصائي فهو ينص على توزيع احتمالي لقيم مقدار في حالات فردية، أو هو يذكر فقط قيمة متوسط المقدار في فئة حالات متعددة. فهو يذكر مثلاً أنك إذا ألقيت بزهرة النرد المكعبة ستين مرة، لكان من المتوقع أن يظهر كل وجه من الوجوه الستة إلى أعلى في حوالى عشر رميات. ولا يمكن للقانون أن يتنبأ بما سوف يحدث في كل رمية على حدة، كما أنه لا يذكر ما سوف يحدث على وجه اليقين في الستين رمية، وإنما هو يقرر أنه إذا ألقي بعدد كبير من الرميات فمن المتوقع أن يظهر كل وجه، في الغالب كما يظهر أي وجه آخر. ولأن هناك ستة وجوه محتملة بالتساوي، فإن احتمال ظهور أي وجه يكون الـ ١/٦. إذن الاحتمال هنا يستخدم بمعنى إحصائي لكي يعني تكراراً نسبياً على مدى الوقت، ولا يعنى بما هو منطقي أو استقرائي وإنما هو ما يطلق عليه اسم درجة التأييد.

ولقد كانت القوانين الإحصائية شائعة في القرن التاسع عشر، ولكن لم يكن أحد من الفيزيائيين يتخيل في ذلك الوقت، أن مثل هذه القوانين يمكن أن تشير إلى غياب الحتمية في قوانين الطبيعة الأساسية. ولقد افترض أن القوانين الإحصائية كانت تعمل طبقاً لأسباب الملائمة(*) «Reasons of Convenience»، أو لأن المعرفة الكافية لم تكن متاحة لكي تصف موقفاً ما بطريقة حتمية(**).

ولقد كانت الحكومات في ذلك الوقت تهتم بنوع معين من القضايا، فبعد عملية إحصاء السكان، كانت توجد أمثلة مألوفة يعبر عنها في صورة إحصائية تنتمي إلى أسباب الملاءمة أكثر منها للجهل بالأسباب فأثناء عملية الحصر، تحاول الحكومة أن تحصل على بيانات كل حالة فردية مثل عمره، وجنسه، ومحل الميلاد، وعدد الأفراد الذين يعولهم، والحالة الصحية وهكذا. وبعد الإحصاء الدقيق لكل هذه البيانات يصبح في مستطاع الحكومة أن تصدر نشرة ذات قيمة. (كان العد والإحصاء في العصور السابقة يتم بواسطة اليد، وكان من المعتاد أن يتم الإحصاء كل عشر سنوات، ولم تكن الإحصاءات دقيقة في ذلك الوقت. أما في عصرنا الحالي فإن البيانات توضع في كروت مثقوبة وتقوم الآلات الحاسبة بعملية إحصاء سريع ودقيق). وتكشف البيانات أن ثمة نسبة مئوية معينة من الأفراد فوق الستين عاماً، وأن ثمة نسبة مئوية معينة من الأطباء أو من

(*) أو ما كان يطلق عليه في ذلك الوقت اسم الأسباب غير الكافية «insufficent» وعادة ما يسمى اليوم بمبدأ عدم المبالاة «The principle of indiffirence» (المترجم).

(**) أي الجهل بالأسباب (المترجم).

الأفراد المصابين بالتدرن الرئوي، وهكذا. ويعد هذا النوع من القضايا الإحصائية ضرورياً لاستنباط عدد كبير جداً من الوقائع التي يسهل التعامل معها. ولا يعني هذا أن الوقائع الفردية غير مفيدة، وإنما يعني أننا ينبغي أن نعاملها فقط بوصفها وقائع فردية. وبدلاً من إجراء ملايين التقريرات الفردية، مثل «. . . وهناك أيضاً السيدة سميث من سان فرانسيسكو، والتي ولدت في ستيل بواشنطون، وعمرها الآن خمسة وسبعون عاماً ولديها أربعة أطفال، وعشرة أحفاد» فإننا نختصر المعلومة في قضايا إحصائية قصيرة، وذلك عن طريق أسباب الملاءمة.

وفي بعض الأحيان لا تكون الوقائع الفردية مفيدة ولا ينفي هذا أننا ينبغي أن نحصل على بعض منها. فإذا كان عدد السكان كبيراً، لا ينبغي أن نجري حصراً شاملاً لكل فرد فيه، وإنما بدلاً من ذلك نأخذ عينة تمثيلية فقط. فعلى سبيل المثال، إذا كنا بصدد حصر ملكية العقارات، وأوضحت العينة أن ثمة نسبة مئوية معينة من السكان يمتلكون عقارات، فإننا نستنبط من ذلك أن نفس النسبة المئوية تقريباً تنطبق على مجموع السكان. وكان من الممكن أن نفحص كل حالة فردية على حدة، ولكن توفيراً للوقت والجهد والتكلفة التي يتطلبها مثل هذا المشروع، فإننا نفضل أن نأخذ عينة ونفحصها، فإذا راعينا الدقة في اختيار العينة الممثلة أمكننا أن نحصل على تقديرات عامة جيدة.

وحتى في العلوم الفيزيائية والبيولوجية، على الرغم من معرفتنا بالواقعة الفردية، أو على الأقل سهولة الحصول عليها، إلا أنه ينبغي أن نستعين بالقضايا الإحصائية.

ففي السلالة النباتية مثلاً ربما نكتشف أن هناك حوالى ألف زهرة حمراء تخضع لشروط معينة، ثم نكتشف في فصيلة نباتات أخرى أن حوالى ٧٥ في المائة من الزهرات بيضاء اللون، وليست حمراء. وربما يكون عالم النبات على معرفة بالأعداد الحقيقية للزهرات الحمراء والبيضاء، أو إذا لم يكن على دراية بذلك، كان في مقدوره أن يحصل على الأعداد الحقيقية عن طريق إجراء إحصاءات دقيقة، ولكننا نجده ـ إذاً لم تكن الحاجة ماسة إلى مثل هذه الدقة ـ يفضل التعبير عن نتائجه في نسبة مئوية تقريبية.

وأحياناً تواجهنا صعوبات شديدة بل ومستحيلة في أن نحصل على معلومة دقيقة عن الحالات الفردية. ففي حالة زهرة النرد مثلاً، إذا أردنا أن نتنبأ بالعدد الذي يظهر في الرمية الواحدة بدقة، وأجرينا من أجل ذلك قياسات دقيقة عن وضع الزهر أثناء الرمية، وسرعته، ووزنه، وطبيعة السطح الذي سوف يستقر عليه، وهكذا، فإننا نخفق في التنبؤ الدقيق، وذلك لأننا نفتقر ببساطة إلى أدوات القياس الدقيقة في الوقت الحاضر. ومن ثم لا نجد أمامنا إلا

القانون الإحصائي نستعين به للتعبير عن تكرار طويل المدى.

ولقد أدت النظرية الحركية للغازات في القرن التاسع عشر إلى صياغة العديد من القوانين الاحتمالية في مجال عرف باسم الميكانيكا الإحصائية. فإذا كانت هناك كمية معينة ولتكن من الأكسجين تنتشر بضغط معين ودرجة حرارة معينة، إذن فإن سرعة جزيئاتها سوف تتوزع توزيعاً معيناً. ولقد سمي هذا بقانون توزيع ماكسويل ـ بولتزمان. وينص على أن كل ثلاثة مكونات من السرعة يكون احتمال توزيعها هو ما يطلق عليه اسم الدالة القياسية (أو الجوسينية) والتي يمكن تمثيلها بما يشبه منحنى الجرس. وهو قانون احصائي يعبر عن وقائع يستحيل التعامل معها تقنياً، لأنها تتعلق بكل جزء فردي على حدة. ويصبح الجهل هنا ـ وهذه نقطة هامة ـ أعمق من الجهل المتضمن في الأمثلة السابقة. لأنه حتى في حالة الزهر يمكن أن نستعين بأدوات في تحليل كل الوقائع الملائمة إذ يمكننا تغذية الحاسب الاليكتروني بالوقائع الملائمة وقبل أن يتوقف الزهر عن الدوران، يبرق الحاسب مبيناً «أن العدد سوف يكون ستة». أما فيما يتعلق بجزيئات الغاز فإننا نفتقر إلى تقنية معروفة يمكننا بواسطتها أن نقيس اتجاه وسرعة كل جزيء فردي على جدة، ونضطر إلى تحليل بلايين النتائج لكي نحدد ما إذا كان قانون توزيع ماكسويل ـ بولتزمان ينعقد أم لا. ولقد صاغ الفيزيائيون ذلك القانون بوصفه قانوناً ميكروفيزيائياً، وتم التعبير عنه في نظرية الغازات وأثبت بواسطة اختبار العديد من النتائج المشتقة من القانون. ولقد كانت مثل هذه القوانين شائعة في القرن التاسع عشر، وبصفة خاصة في المجالات التي يستحيل فيها الحصول على الوقائع الفردية. أما اليوم فإن هذا النوع من القوانين يستخدم في كل فرع من فروع العلم، وبصفة خاصة في العلوم البيولوجية والاجتماعية.

لقد كان فيزيائيو القرن التاسع عشر يدركون تمام الإدراك أن قوانين الغازات الاحتمالية أو القوانين المتعلقة بسلوك الإنسان إنما تخفي جهلاً أكثر هوة من ذلك الجهل المتضمن في قذف زهرة النرد. ومع ذلك كانوا مقتنعين، من حيث المبدأ بإمكانية الحصول على معلومة في هذا الخصوص. وبالتأكيد لم تكن لديهم الوسائل التقنية التي تمكنهم من قياس الجزيئات الفردية. ولكن يستطيع الفيزيائي الآن أن يرى الجسيمات الدقيقة تحت الميكروسكوب، يراها معلقة في سائل ومتحركة بغير انتظام لأنها تندفع هنا وهناك لاصطدامها بجزيئات غير مرئية. كما أمكن رصد جسيمات أدق فأدق عن طريق أدوات أفضل. وربما يتم في المستقبل صنع أدوات تستخدم في قياس مواضع وسرعات الجزيئات الفردية بدقة.

ولقد أدرك فيزيائيو القرن التاسع عشر أيضاً، أنه عندما يقل جزيء عن طول موجة ضوء

مرئي، فلا يمكن رؤيته بميكروسكوب عادي. ولكنهم لم يستبعدوا إمكانية وجود نماذج أخرى من الأدوات نتمكن بها من قياس جسيمات أصغر من طول موجة الضوء. وبالفعل استطعنا ذلك اليوم عن طريق الميكروسكوب الاليكتروني.

ولقد أدركوا أيضاً أن الملاحظة الدقيقة الكاملة شيء مستبعد، فلا بد أن يكون هناك عنصر اللاتعيين. ومعنى هذا أن قوانين العلم إحصائية، ولكن ليس بالمعنى القوي. وكانوا على ثقة ـ وهذه نقطة هامة ـ أن الدقة والأحكام يزدادان على مر الأيام. فقد قيل عنهم أنهم صرحوا بأن في إمكانهم أن يقيسوا بإحكام ما هو مكون من عددين عشريين، ويمكنهم في اليوم التالي أن يتوصلوا إلى قياس ثلاثة أعداد عشرية، وخلال عدة عقود يمكنهم التوصل إلى عشرين أو مائة عدد عشري. فقد كانوا يفترضون أنه ليس ثمة قيد على ما يمكنهم الوصول إليه من دقة في أي نموذج للقياس. ولقد افترض فيزيائيو القرن التاسع عشر والعديد من الفلاسفة أيضاً أن خلف كل القوانين الماكروسكوبية ـ بقدرتها على تجنب أخطاء القياس ـ توجد قوانين ميكروسكوبية دقيقة ومحددة. ولا يمكن بالطبع أن نرى الجزيئات الواقعية، ولكن الحركة الناتجة عن تصادم جزيئين يمكن بالطبع تحديدها تماماً عن طريق تعيين شروط ما قبل الاصطدام، فإذا كانت كل هذه الشروط معلومة لأمكننا أن نتنبأ بدقة بسلوك الجزيئات المتصادمة، لأن سلوك الجزئيات ينبغي أن يعتمد على شيء ما، ولا يمكن أن يحدث بشكل تعسفي أو كيفما اتفق، ولكن ينبغي أن تكون القوانين الأساسية للفيزياء حتمية.

كما أدرك فيزيائيو القرن التاسع عشر أيضاً أن القوانين الأساسية نادراً ما تعبر عن الأشياء تعبيراً كاملاً وتمثله تمثيلاً خالصاً، وذلك بسبب تأثير العوامل الدخيلة أو الطارئة. ولقد عبروا عن ذلك بالتمييز بين القوانين الأساسية والقوانين المقيدة «Restricted Laws» وهي تلك القوانين التي تشتق من القوانين الأساسية. والقانون المقيد هو ببساطة ذلك القانون الذي تمت صياغته بشرط مقيد، فهو يقرر مثلاً أن هذا الشيء أو ذاك سوف يحدث فقط تحت «ظروف طبيعية» أو معتادة إننا نفترض مثلاً أنه «إذا سخن قضيب الحديد» وكان في درجة التجمد ثم وصل إلى درجة غليان الماء، فإن طوله سوف يزداد «ولكن إذا كان القضيب مشدوداً على منجلة قوية تضغط على حوافه وكان الضغط كافياً، فإن القضيب لن يمتد، ويصبح افتراضنا خاطئاً. ولذلك يقال عن القانون أنه مقيد لأنه لا ينعقد إلا تحت ظروف معتادة، ولا يحدث ذلك إلا إذا لم تكن هناك قوى أخرى تؤثر عليه.

وخلف كل قانون مقيد يوجد قانون أساسي، وتقرير القانون الأساسي يكون دائماً غير مشروط. افترض مثلاً هذا القانون «ينجذب جسمان كل منهما للآخر بقوة تجاذب تتناسب طردياً

مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسياً مع مربع المسافة بينهما» يعد تقرير هذا القانون غير مشروط. لأنه يمكن أن تكون هناك بالطبع قوى أخرى مثل الجاذبية المغناطيسية قد تتدخل فتغير من حركة أحد الجسمين، ولكن ذلك لن يغير من كمية أو اتجاه القوة الجاذبة. والحقيقة أننا لسنا في حاجة إلى شروط مقيدة تضاف إلى نص القانون. لأن هناك مثالاً آخر تزودنا به معادلات ماكسويل في المجال المغناطيسي من المعروف أن هذه المعادلات تنعقد بلا قيد أو شرط، وبدقة مطلقة. ولقد كانت الصورة العظيمة التي قدمتها الفيزياء النيوتونية للعالم هي أن كل الحوادث التي تقع فيه يمكن تفسيرها مبدئياً عن طريق القوانين الأساسية. وهذه القوانين تخلو تماماً من عنصر اللاتحديد. وكما أوضحنا في فصل سابق، صاغ لابلاس، هذه النظرية الكلاسيكية صياغة دقيقة عندما افترض العقل الخيالي أو الإنسان الخارق الذي إذا عرف كل القوانين الأساسية وكل وقائع العالم في لحظة معينة لكان قادراً على أن يحسب كل حوادث العالم الماضية والمستقبلة.

بيد أن هذه الصورة الخيالية قد تحطمت تماماً عند ظهور فيزياء الكم كما سنرى ذلك في الفصل التالي والأخير.

الفصل الثلاثون

اللاحتمية في فيزياء الكمّ

تعتمد السمة اللاحتمية لميكانيكا الكم أساساً على مبدأ عدم التحديد، وتطلق عليه أحياناً مبدأ اللاتعيين أو علاقة اللاتعيين، ولقد أعلنه أول مرة سنة ١٩٢٧ فيرنر هايزنبرج «Verner Heisenberg». وهذا المبدأ يقرر بخشونة، أن من المستحيل، من حيث المبدأ أن نقيس زوجين معينين من المقادير تسمى المقادير المترافقة «Conjugate»، في نفس اللحظة وبدقة عالية.

وإليك مثالاً لهذين الزوجين:

١ - إن البعد الإحداثي - م لموقع جسيم مفترض في زمن مفترض (ومن جهة نظام إحداثي مفترض هو (ك م).

٢ - إن المركب - م لزخم (قوة دفع) نفس الجسيم في نفس الزمن هو (ق م). (وهذا المركب هو نتاج كتلة الجسيم ومركب سرعته - م).

وينعقد نفس الأمر بالنسبة إلى الزوجين ك ن، ق ن، وبالنسبة إلى الزوجين ك هـ، ق هـ.

افترض أننا أجرينا قياسات للمقادير المترافقة ق، ك، ووجدنا أن ق تقع على مسافة معينة من الطول △ ق، وأن ك تقع على مسافة معينة من الطول △ ك. يؤكد مبدأ اللاتعيين لهيزنبرج، إننا إذا حاولنا أن نقيس ق بدقة فإن هذا يجعل △ ق ضئيلاً للغاية، فلا نستطيع أن نقيس في نفس اللحظة ك بدقة وذلك لأنه يجعل △ ك ضئيلاً للغاية. وبتحديد أكثر، لا يمكن أن يكون ناتج △ ق، △ ك أصغر من القيمة المعينة التي تم التعبير عنها في حدود ثابت بلانك n.
فإذا كانت المقادير المترافقة مركبات للزخم والموضع، فإن مبدأ اللاتعيين يقرر أنه لا يمكن مبدئياً قياسهما معاً بدرجة عالية من الدقة. فإذا ما عرفنا بالضبط موضع الجسيم تصبح مركبات زخمه

مبهمة، وإذا ما عرفنا بالضبط ما هو زخمة، لا يمكننا تحديد موضعه بالضبط. وبالطبع في الاختبار العقلي فإن عدم دقة قياس هذا النوع يكون أكبر بكثير من الحد الأدنى المفترض في مبدأ اللاتعيين. والنقطة الهامة هي أن هذه الاضطرابات الشديدة إنما تنحصر في أن عدم الدقة هذه تعدّ جزءاً لا يتجزأ من قوانين نظرية الكمّ الأساسية. ولا ينبغي أن نعتقد في أن التقييد الذي ذكره مبدأ اللاتعيين يرجع إلى عيوب في وسائل القياس، وبالتالي إذا أدخلنا بعض التحسينات. على تقنيات القياس نتمكن من إحراز الدقة. وإنما هو قانون أساسي ولسوف يظل هكذا طالما بقيت قوانين نظرية الكم على صورتها الحالية.

ولا يعني هذا أن قوانين الفيزياء المسلم بها لا يمكن أن تتغير أو أن مبدأ اللاتعيين لهيزنبرج لا يمكن التخلي عنه أبداً. ولكن مع ذلك فإنني أعتقد أن من المناسب أن أؤكد على أنه سوف يحدث تغيير ثوري في البنية الأساسية لفيزياء اليوم يزيل هذه الصورة. ويقتنع بعض علماء اليوم (كما اقتنع اينشتين من قبل) أن هذه الصورة الميكانيكا الكـم الحديثة، أمر مشكوك فيه، وربما يتم التخلي عنها في يوم ما. هناك إمكانية لذلك، ولكن سوف تكون هذه الخطوة جذرية. وفي نفس الوقت، لا يمكن للمرء أن يتصور كيف يمكن استبعاد مبدأ اللاتعيين.

إن الاختلاف الهام بين نظرية الكم والفيزياء الكلاسيكية يقع في مفهوم الحالة اللحظية للنظام الفيزيائي. افترض على سبيل المثال، نظاماً فيزيائياً يحتوي على عدد من الجسيمات. في الفيزياء الكلاسيكية، توصف حالة هذا النظام في الزمن ز ١، وبشكل كامل عن طريق إعطاء كل جسيم قيم المقادير التالية (وتسمى في بعض الأحيان «متغيرات الحالة»، وسوف أطلق عليها اسم «مقادير الحالة»).

(أ) إحداثيات الموضع الثلاثة في ز ١.
(ب) مركبات الزخم الثلاثة في ز ١.

افترض أن هذا النظام يبقى معزولاً أثناء الزمن من ز ١ إلى ز ٢، ويقال أنه لا يتأثر أثناء هذا الفاصل الزمني بأي اضطراب من الخارج. وإذن على أساس الحالة المفترضة للنظام في ز ١، تحدد قوانين الميكانيكا الكلاسيكية وحدها (قيم كل مقادير الحالة) في ز ٢.

أما في ميكانيكا الكم، فإن الصورة تختلف تماماً (ولن نهمل هنا الاختلاف في طبيعة تلك الجسيمات التي تطرأ إليها بوصفها نهائية بمعنى كونها لا تتجزأ أو لا تنقسم إذ لم تعد هذه الخاصية منسوبة إلى الذرات في الفيزياء الحديثة، ولكنها تنقسم إلى جسيمات أصغر مثل الاليكترونيات والبروتونات. وعلى الرغم من أن هذا الاختلاف يعد علامة على الخطوة العظيمة نحو التطور

الحالي للفيزياء. إلا أنه ليس ضرورياً بالنسبة لمناقشتنا الحالية التعلق بالمناهج الصورية لتعيين حالة النظام). ففي ميكانيكا الكم، تسمى مجموعة من مقادير الحالة بالنسبة لنظام مفترض في زمن مفترض، المجموعة الكاملة «إذا أمكن من حيث المبدأ، أن نقيس أولاً كل مقادير المجموعة بشكل لحظي، وإذا تحددت ثانياً قيمتها بالنسبة لأي مقدار حالة أخرى وربما يتم قياسها بشكل لحظي عن طريق قيمتها مع كل أولئك الذين يكونون في المجموعة وهكذا في مثالنا ربما تتكون فئة من الجسيمات من مجموعة كاملة من المقادير التالية: بالنسبة لبعض الجسيمات تكون الإحداثيات ك م، ك ن، ك هـ، وبالنسبة للجسيمات الأخرى، تكون مركبات الزخم ق م، ق ن، ق هـ، وبالنسبة للآخرين أيضاً تكون ق م، ك ن، ق هـ أو ك م، ك ن، ق هـ، ومع ذلك وبالنسبة للجسيمات الأخرى يتم التعبير عن المجموعة الأخرى المناسبة للمقادير الثلاثة في حدود الـ ك، س و ق، س. وطبقاً لمبادىء ميكانيكا الكم، توصف حالة النظام في زمن معلوم وبشكل كامل عن طريق تعيين قيم أية مجموعة كاملة من مقادير الحالة. ومن الواضح أنه يمكن النظر إلى مثل هذا الوصف باعتباره صورة غير مكتملة من وجهة النظر الكلاسيكية، لأنه إذا كانت المجموعة تتآلف من ك م إذن لما كانت ق م معلومة أو محددة بالقيم الأخرى في المجموعة. ولكن يتوافق هذا التقييد لوصف الحالة مع مبدأ اللاتعيين: فإذا كانت ك م معلومة إذن تكون ق م مجهولة من حيث المبدأ. ومن السهل أن نرى أن هناك عدداً ضخماً ـ ولا نهائياً حقاً ـ من الاختبارات المختلفة الممكنة، لمجموعة كاملة من مقادير الحالة بالنسبة لنظام مفترض. ويمكننا أن نختار بحرية لكي نجري قياسات على مقادير أية واحدة من المجموعات الكاملة. وبعد إجراء القياس على القيم الدقيقة لمقادير المجموعة المختارة، فإن وصف الحالة التي تعين تلك القيم الواحدة هي ما يمكننا أن نعلق أننا نعرفها.

ويمكن في ميكانيكا الكم، تمثيل أية حالة في نظام عن طريق دالة من نوع خاص، تسمى «دالة الموجة». وتحدد الدالة التي من هذا النوع، القيم العددية لنقاط المكان (ومع ذلك لا يكون هذا بصفة عامة هو المكان المألوف ذو الأبعاد الثلاثة، وإنما هو مكان مجرد ذو أبعاد أكثر) فإذا افترضنا مجموعة كاملة من مقادير الحالة بالنسبة للزمن ذا، إذن لكانت دالة موجة النظام إلى ز ١ محددة بشكل وحيد. وعلى الرغم من أن كل هذه الدوال الموجبة تعتمد على مجموعة مقادير تبدو بصورة غير مكتملة من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية، إلا أنها تلعب في ميكانيكا الكم دوراً مماثلاً لما تلعبه أوصاف الحالة في الميكانيكا الكلاسيكية فتحت شرط العزب ـ كما سبق لنا القول ـ يمكن تحديد دالة الموجة بالنسبة للزمن ز، على أساس دالة الموجة المفترضة بالنسبة للزمن ز ١. وذلك بمساعدة المعادلة المشهورة المعروفة باسم «معادلة شرود نجر التفاضلية»، والتي ذكرها لأول

مرّة العالم الفيزيائي النمساوي العظيم «أدوين شرونجر Edwin Schrodinger» والصيغة الرياضية لهذه المعادلة تتخذ شكل القانون الجبري وهي تخضع دالة الموجة الكاملة لـ «ز٢»، ولذلك إذا قبلنا دوّال الموجة بوصفها تمثيلات كاملة لحالات لحظية فإن ذلك سيقودنا إلى القول، بأن الحتمية في فيزياء الكمّ تظل باقية ولو على المستوى النظري فحسب.

ومثل هذا التقرير، على الرغم من أنه يلقى تأييداً من بعض الفيزيائيين إلا أنه يبدو لي مضللاً، لأنه يمكن أن يقود القارىء إلى التغاضي عن الحقيقة التالية. عندما نسأل دالة الموجة المحسوبة بالنسبة لنقطة زمن مستقبلي ز ٢، أن تخبرنا عن قيم مقادير الحالة في ز ٢، فإن الإجابة تكون: إذا خططنا لأن نجعل في ز، مقياساً لمقدار حالة مخصوصة ـ ولتكن مثلاً الإحداثية ـ هـ لموقع الجسم رقم ٥ ـ لما تنبأت دالة الموجة بالقيمة التي سوف يتوصل إليها مقياسنا وإنما سوف تزودنا فقط بتوزيع احتمالي لقيم هذا المقدار الممكنة. وبصفة عامة، فإن دالة الموجة سوف تعين احتمالات موجبة وبقيم ممكنة متعددة (أو لفواصل فرعية لقيم ممكنة متعددة) وفي بعض الحالات النوعية فقط تصل واحدة من القيم نظرياً إلى درجة الاحتمال واحد أي درجة التأكيد) وهنا يجوز لنا أن نقرر أن القيمة قد تم التنبؤ بها قطعياً. ومع ملاحظة أن دالة الموجة المحسوبة لـ ز، تزودنا بتوزيع احتمالي لقيم مقدار كل حالة النظام الفيزيائي محل البحث ففي مثالنا الأسبق يعني هذا أنه يزودنا بتوزيعات الاحتمال لكل المقادير المشار إليها في كل من (أ) و(ب). ومن ثم نجد أن نظرية الكم لاحتمية بشكل أساسي فهي لا تزودنا بتنبؤات ثابتة لنتائج القياسات، وإنما هي تزودنا فقط بتنبؤات احتمالية.

ولأن دالة الموجة المحسوبة للزمن ز ٢ تخضع لتوزيعات احتمالية لمقادير الحالة الأولية ومن جهة الجسيمات الفردية فمن الممكن أيضاً أن تشتق توزيعات الاحتمال لمقادير أخرى تم تعريفها في حدود المقادير الأولية. ومن بين هذه المقادير الأخرى التي هي مقادير إحصائية لمجموعة كل جسيمات النظام الفيزيائي أو للمجموعة الفرعية لهذه الجسيمات، نجد أن العديد من هذه المقادير الإحصائية تنطبق على الخواص التي يمكن ملاحظتها ماكروسكوبياً مثل درجة حرارة جسم صغير ولكنه مرئي أو موضع سرعة مركز جاذبية جسم، فإذا كان الجسم مؤلفاً من بلايين الجسيمات مثل قمر صناعي يدور حول الأرض فـإن موضعه وسرعته ودرجة حرارته ومقادير أخرى تخضع للقياس، يمكن أن تحسب بدقة عالية. وفي حالات من هذا النوع، يتخذ احتمال منحنى الثقل النوعي للمقدار الإحصائي شكل هضبة وهذه حقيقة جداً. ولذلك يمكننا أن نعين المسافة الصغيرة التي تتكون منها الهضبة كلها بشكل عملي، وكنتيجة لذلك يكون احتمال الحادث الذي تقع فيه قيمة المقدار في هذه المسافة قريباً جداً من الواحد الصحيح. وهو يقترب من ذلك لأنه من

أجل كل الأغراض العملية، ينبغي أن نهمل السمة الاحتمالية للتنبؤ، وأن نأخذ بها كما لو أنها مؤكدة. ولكن من وجهة نظر نظرية الكم فإن القمر إنما هو نظام مؤلف من بلايين الجسيمات، وإنه بالنسبة لكل جسيم فردي هناك اضطراب لا مفر منه في التنبؤات. وينطبق اللاتعيين الذي تعبر عنه قوانين الكم على القمر أيضاً ولكنه يختزل بالكاد إلى الصفر، وذلك بالنسبة إلى القوانين الإحصائية التي تغطي عدداً كبيراً جداً من الجسيمات.

ومن ناحية أخرى هناك حالات ذات طبيعة مختلفة تماماً، يكون فيها وقوع الحادث مرصوداً بشكل مباشر، وبأقوى معنى لهذه الكلمة، ولكنه مع ذلك يعتمد على سلوك عدد ضئيل جداً من الجسيمات، بل وفي بعض الأحيان، على جسيم فردي واحد فقط ـ وفي حالات من هذا النوع، ينطبق عليه مبدأ اللاتعيين الذي ينطبق على سلوك جسيم فردي واحد. ويحدث هذا غالباً في الحالات التي يكون فيها الحادث المجهري ذا نشاط إشعاعي. فهو يحدث مثلاً عندما ينبعث اليكترونا من جهاز بيتا للاضمحلال الإشعاعي «Beta-Decay» فيصدر طقطقة يمكن سماعها بوضوح في حاسب جيجر «Geiger counter». وحتى إذا فرضنا فرضاً مثالياً بأننا نعرف قيم المجموعة الكاملة من مقادير الحالة الأولية للجسيمات دون الذرية في مجموعة صغيرة من الذرات المشعة، والمكونةُ للجسم ب في الزمن ز ١، فإننا لا نستطيع أن نشتق إلا احتمالات الصدفة لمثل هذه الحوادث في خلال الثانية الأولى التالية لـ ز ١. جسيم لا ينبعث منه شيء وجسيم ينبعث منه إشعاع واحد، وجسيم ينبعث منه إشعاعان، وهكذا. فإذا كان الأمر على هذا النحو، فإن احتمال عدم الانبعاث في خلال ثانية واحدة يقترب من الواحد الصحيح، ومن ثم لا نستطيع أن نتنبأ، حتى بتقريب فج، بالزمن الذي سوف يحدث فيه انبعاث الجسيم الأول وسبب طقطقة حاسب جيجر. وإنما يمكننا أن نحدد فقط الاحتمالات والقيم المتعلقة بها، أي أن نتوقع مثلاً قيمة زمن الطقطقة الأولى.

وبالنظر إلى هذه الحالة، يمكننا أن نقرر أن حتمية القرن التاسع عشر، قد استبعدت من الفيزياء الحديثة. وأعتقد أن معظم علماء الفيزياء اليوم، يفضلون هذه الطريقة للتغيير الجذري الذي أحدثته ميكانيكا الكم في الصورة النيوتونية الكلاسيكية.

وعندما يقرر بعض الفلاسفة أمثال أرنست ناجل «Ernest Nagel»، وعلماء فيزياء آخرون أمثال هنري مارجينو «Henry Margenau»، أن الحتميـة لا زالت باقية في القوانين التي تتعلق بحالات النظم، وأن تعريف «حالة النظام» فقط هو الذي تغير. فإنني لن أعارض وجهات نظرهم، لأن ما يقررونه صحيح. ولكن في رأيي الكلمة «فقط» يمكن أن تكون مضللة. لأنها تعطي انطباعاً بأن التغير إنما هو مجرد إجابة مختلفة عن السؤال: ما هي المقادير التي تميز حالة

نظام؟ بينما التغير في الحقيقة يعد أساسياً بالفعل، وبشكل أبعد بكثير من هذا. ولقد كان علماء الفيزياء الكلاسيكية مقتنعين بأنه مع تقدم البحث، فإن القوانين سوف تصبح دقيقة أكثر فأكثر، وأنه ليس ثمة حد مطلق لما تحوز عليه من أحكام عند التنبؤ بالحوادث المرصودة. أما نظرية الكم فإنها على العكس من ذلك، وضعت نهاية لمثل هذا الحد المتبع. ولهذا السبب، فإنني أعتقد أن مخاطرة سوء الفهم تتضاءل إذا قررنا أن بنية السببية ـ بنية القوانين ـ في الفيزياء الحديثة، تختلف بشكل أساسي عما كان سائداً في عصر نيوتن وحتى نهاية القرن التاسع عشر إذ ان الحتمية بالمعنى الكلاسيكي، قد تم التخلي عنها نهائياً.

ومن السهل أن نفهم لماذا كان من الصعب نفسياً على الفيزيائيين أن يقبلوا هذه الصورة الجديدة كل الجدة للقانون الفيزيائي. فقد كان بلانك نفسه ـ وهو بطبيعته مفكر محافظ ـ شديد الهم عندما تحقق منذ البداية أن انبعاث وامتصاص الإشعاع لم يكن عملية مستمرة، وإنما هو ينتقل في وحدات غير منقسمة. وكان هذا الانفصال معارضاً تماماً للروح العامة للفيزياء التقليدية، بحيث كان من الصعب جداً بالنسبة للعديد من الفيزيائيين وضمنهم بلانك نفسه، أن يتكيفوا مع الطريقة الجديدة للتفكير.

ولقد أدت الطبيعة الثورية لمبدأ هيزنبرج في اللاتعيين ببعض الفلاسفة والفيزيائييـن أن يرتأوا أن ثمة تغيرات أساسية قد جرت على لغة الفيزياء. ونادراً ما كان علماء الفيزياء أنفسهم يتحدثون كثيراً عن اللغة التي يستخدمونها. وإنما يأتي مثل هذا الحديث عادة من أولئك القلة من الفيزيائيين الذين يولون اهتمامهم أيضاً إلى الأسس المنطقية للفيزياء، أو من قبل المناطقة الذين قاموا بدراسة الفيزياء وكان هؤلاء وأولئك يسألون أنفسهم: «ألا ينبغي أن تتعدل لغة الفيزياء لتتلاءم مع علاقات اللاتعيين؟ وإذا كان الأمر كذلك كيف يتسنى ذلك؟».

بيد أن الغالبية العظمى من المقترحات التي قدمت لإجراء مثل هذا التعديل، قد اهتمت فقط بالصورة المنطقية المستخدمة في الفيزياء. ولقد عبر كل من فيليب فرانك، وموريتز شليك (وكان شليك آنئـذ فيلسوفاً في فيينا، وفرانك عالماً فيزيائياً في براغ) عن وجهة نظرهما في هذا الموضوع لأول مرة. وهي تلك الوجهة من النظر التي تنحصر في أنه تحت شروط معينة، يمكن اعتبار اقتران قضيتين ذات معنى في الفيزياء، بلا معنى. أفترض مثلاً أن هناك تنبؤين يتعلقان بقيم مقادير مترافقة لنفس النظام في نفس الوقت. كأن تتنبأ القضية أ بموقع الإحداثيات الدقيق لجسيم في زمن معين، وتعطي القضية ب مركبات الزخم الثلاثة لنفس الجسيم في نفس الوقت. تعرف من مبدأ اللاتعيين لهيزنبرج، أنه سيكون لدينا الاختيارين التاليين فقط:

١ - يمكننا أن نجري تجربة (ونحن مزودون بالطبع بأدوات جيدة بشكل كاف) وعن طريقها نعلم موقع الجسيم بدقة عالية، ولا أقول بدقة كاملة. في هذه الحالة، لن يكون تحديدنا لزخم الجسيم محكماً.

٢ - وبدلاً من هذا يمكننا أن نجري تجربة أخرى، نقيس عن طريقها مركبات زخم الجسيم بدقة عالية جداً. لكننا، في هذه الحالة ينبغي أن نقنع بتحديد غير دقيق تماماً لموقع الجسيم.

وبالاختصار يمكننا أن نختبر إما أ أو ب ولا نستطيع أن نختبر أ و ب معاً. ولقد كتب مارتن شتراوس «Martin Strauss» أطروحته للدكتوراه في هذا الموضوع، وكان تلميذاً لفرانك، ثم عمل أخيراً مع نيلزبور «Niels Bohr» في كوبنهاجن. لقد قرر شتراوس أنه ينبغي أن يؤخذ اقتران أ، ب بوصفه بلا معنى، وذلك لأنه غير قابل للإثبات. فيمكننا أن نحقق أ، إذا رغبنا في ذلك بأي أحكام مطلوب كما يمكننا أن نفعل نفس الشيء مع ب، ولكن لا يمكننا أن نفعل ذلك مع «أ و ب» معاً. ولذلك لا ينبغي أن نعتبر الاقتران قضية ذات معنى. ولهذا السبب شدد شتراوس على أهمية تعديل صيغة القواعد الخاصة بلغة الفيزياء (وهي القواعد الخاصة بالصيغ المسموح بها للجمل) وفي رأيي يعد هذا التغيير الجذري شيئاً غير مستحسن.

بيد أن هناك اقتراحاً آخر مماثلاً تقدم به كل من الرياضيين جاريت بيركهوف «Garret Birkhoff»، وجون فون نيومان «Von Neumann»، فقد اقترحا تغييراً، ليس في صيغ القواعد، وإنما في تحويل القواعد (وهي القواعد التي يمكن عن طريقها اشتقاق جملة من جملة أخرى أو من مجموعة من الجمل) كما اقترحا أن يتخلى الفيزيائيون عن واحدة من قوانين التوزيع في منطق القضايا(*).

وهناك اقتراح ثالث تقدم به هانز رايشنباخ الذي اقترح إحلال المنطق ذي القيم الثلاث محل المنطق التقليدي ذي القيمتين بحيث تكون لكل قضية ثلاث قيم ممكنة: ص (صادق)، ك (كاذب)، غ (غير محددة). أي ينبغي إحلال قانون الرابع المرفوع محل قانون الثالث المرفوع الكلاسيكي (أي القضية التي ينبغي أن تكون إما صادقة أو كاذبة، ولا توجد إمكانية ثالثة) ففي

(*) طبقاً للمنطق الرمزي الذي وضعه كل من رسل وهوايتهد في كتابهما المشترك «مبادىء الرياضيات» يكون لقانون التوزيع صورتان:

١ - [ق. (ق. ل)] ≡ [(ق. ل) ٧ (ق. ل)].

٢ - [ق ٧ (ك. ل)] ≡ [(ق ٧ ك). (ق ٧ ل)].

مع ملاحظة أن الثوابت الرمزية ·، ٧، ≡ تعني على التوالي: و، أو، يكافىء. (المترجم).

قانون الرابع المرفوع، ينبغي أن تكون القضية إما صادقة أو كاذبة أو غير محددة، وليس ثمة بديل رابع. فعلى سبيل المثال، ربما نجد أن القضية ب التي تعبر عن زخم جسيم صادقة، إذا أجرينا عليها تجربة مناسبة. ولكن في هذه الحالة لا بد أن تكون القضية أ التي تعبر عن موقع الجسيم غير محددة. وهي غير محددة لأن من المستحيل مبدئياً تحديد صدقها أو كذبها في نفس اللحظة التي تثبت فيها القضية ب. إما إذا تم إثبات أ بدلاً منها، حينئذ لن تكون ب محددة. وبكلمات أخرى هناك مواقف في الفيزياء الحديثة، إذا كانت فيها قضايا معينة صادقة ينبغي أن تكون قضايا أخرى غير محددة.

ولقد وجد رايشنباخ أن من الضروري ـ لكي يتجه إلى قيم الصدق الثلاثة ـ إعادة تعريف الروابط المنطقية المعتادة (التضمن، الفصل، الربط، وهكذا) بجداول للصدق أعقد بكثير من تلك المستخدمة لتعريف الروابط في المنطق ثنائي القيم المألوف، كما أدى به إلى إدخال روابط جديدة. ومرة أخرى يداخلني إحساس بأنه إذا كان من الضروري تعقيد المنطق بهذه الصورة فمن الأجدر أن يكون هذا مقبولاً. ومع ذلك، لا أستطيع أن أرى في الوقت الراهن أية ضرورة لمثل هذه الخطوة الراديكالية.

وينبغي بالطبع أن ننتظر حتى نرى كيف تمضي الأشياء في مستقبل تطور الفيزياء. ولسوء الحظ، علماء الفيزياء وحدهم هم الذين يقدمون نظرياتهم بالصورة التي يرغبونها، وليس كما يود المنطقيون. فهم لا يقولون مثلاً: «هذه هي لغتنا وهي مكونة من تلك الحدود الأولية، وهذه هي قواعد الصياغة، حيث توجد البديهيات المنطقية». وهم إذا قدموا على الأقل بديهياتهم المنطقية، لكان في إمكاننا أن نعرف ما إذا كانوا متفقين مع فون نيومان أو رايشنباخ أم لا، أو ما إذا كانوا يفضلون المنطق الثنائي القيم أم لا. كما أن من الأفضل أيضاً أن نحصل على المسلمات الكاملة لحقل الفيزياء مذكورة في شكل نسقي بحيث يمكن أن يشتمل ذلك على المنطق الصوري. وإذا تم عمل هذا لكان من الأسهل علينا أن نحدد ما إذا كانت هناك أسباب وجيهة لتغيير المنطق السائد أم لا.

والحقيقة أننا نشير هنا إلى المشكلات العميقة المتعلقة بلغة الفيزياء، والتي لم تحل بعد كما أن هذه اللغة، باستثناء أقسامها الرياضية، لا زالت لغة طبيعية إلى حد كبير ذلك لأن تعلم قواعدها يتم بشكل ضمني عملياً، كما أن صياغتها تتم بشكل قطعي فقط. وهناك بالطبع آلاف الحدود والعبارات الجديدة الغريبة على لغة الفيزياء قد تم تبينها، كما تم في حالات قليلة، اختراع قواعد معينة لاستعمال بعض من هذه الحدود والرموز التقنية. وكمثل لغات علوم أخرى تزايدت دقة وكفاية لغة الفيزياء وسوف يستمر هذا الاتجاه بالتأكيد ومع ذلك فإن تطور ميكانيكا الكم، لم يؤثر

بعد التأثير الكامل في صقل لغة الفيزياء في عصرنا الراهن.

ومن الصعب أن نتنبأ كيف ستتغير لغة الفيزياء ولكنني على قناعة بأن هناك اتجاهين قد يقودان إلى تحسينات كبيرة في لغة الرياضيات، ومن ثم يتحقق تأثير مماثل في صقل وتوضيح لغة الفيزياء، وأن هذا سوف يتم في غضون النصف الأخير من القرن الحالي. وهذان الاتجاهان هما: تطبيق المنطق الحديث ونظرية المجموعة، وتبني المنهج الأكسيوماتيكي في صورته الحديثة التي تفترض لغة صورية. إما في الوقت الراهن، فإن مضمون النظريات والبنية المفهومية للفيزياء كلها تخضع لمناقشة حامية وأتوقع أن تساعد هذه المناهج على تحقيق تقدم ما.

إننا نواجه هنا بتحد مثير يستوجب تعاونـاً أوثق بين علماء الفيزياء والمنطقيين، والأمر منوط بأولئك الرجال حديثي السن الذين درسوا الفيزياء والمنطق معاً. وانني لا زلت مقتنعاً بأن تطبيق المنطق الحديث والمنهج الأكسيوماتيكي على الفيزياء، سوف يفعل أكثر بكثير من مجرد تحسين الصلة بين علماء الفيزياء والعلماء الآخرين. كما أنني أشعر أن شيئاً ما عظيم الأهمية إلى حد بعيد سوف ينجز ولسوف يجعل من الأسهل تكوين مفاهيم جديدة لصياغة فروض جديدة. لأن في السنوات الحالية، تم تجميع كمية كبيرة جداً من النتائج التجريبية الحديثة، يؤدي معظمها إلى تحسين كبير في الأدوات التجريبية مثلما حدث عندما تحطمت الذرة الكبيرة فأدى ذلك إلى تقدم سريع في تطور ميكانيكا الكم. بيد أن المجهودات التي بذلت لإعادة بناء النظرية بمثل هذه الطريقة التي تجعل كل المعطيات الجديدة مناسبة لها لم تنجح بعد لسوء الحظ. فقد ظهرت بعض الألغاز المحيرة المدهشة والمآزق المربكة، أدّت الحلول الهامة التي توصلوا لها إلى صعوبات أشدّ.
- ويبدو من المناسب أن نفترض أن استخدام أدوات مفهومية جديدة يمكن أن يكون مساعداً ضرورياً.

ويعتقد بعض الفيزيائيين أن ثمة فرصة سانحة لاقتحام ميادين جديدة في المستقبل القريب. وسواء تم ذلك في القريب العاجل أو فيما بعد، فإنني لعلى ثقة من أن القادة السياسيين للعالم سوف يتخلون نهائياً عن حماقة الحرب النووية وسوف يسمحون للإنسانية أن تحيا - فيستمر العلم في تقدمه العظيم ويؤدي بنا إلى استبصارات أعمق على الدوام في بنية العالم.

الفَهرس

الأسس الفلسفية للفيزياء

يُعَدُّ رودولف كارناب (1891 - 1970) واحداً من أهم فلاسفة الوضعية المنطقية؛ تلك الحركة الفلسفية التي ظهرت في فيينا عقب الحرب العالمية الأولى ـ وبالتحديد في العشرينات من هذا القرن ـ نتيجة الحوارات والنقاشات التي دارت بين مجموعة من الفلاسفة والعلماء والرياضيين المناطقة؛ الذين لم يقبلوا الإجابات التقليدية السائدة في الدوائر الفلسفية حول الإشكالات التي طرحتها «المعرفة العلمية» الحديثة.

وقد شكَّلت الوضعية المنطقية بأطروحاتها تحدياً أَقْلَقَ عالم الفلسفة؛ لا سيما وأنها أخرجت فعل التفلسف عن ضروبه المألوفة في المباحث الميتافيزيقية والأخلاقية... الخ؛ بل إنها أنكرت هذه الضروب من التفلسف وعَدَّتها من قبيل القضايا الخالية من المعنى النظري؛ إنْ لم يكن من قبيل اللغو طالما أنها قضايا لا تخضع لمعيار التحقق ولا تتسم بالصدق الضروري.

درس كارناب الفيزياء والرياضيات والفلسفة في جامعتي «فرايبورج» و «يينا» وتتلمذ على يدي المنطقي الكبير «فريجة» وتأثر بعمق بكل من «رسل» و «فتجنشتين»؛ وقد انشغل في أعماله الفكرية الأولى «بتحليل المفاهيم العلمية مستعيناً بالمنطق الحديث؛ من أجل تنقية المشكلات الفلسفية»؛ إلَّا أنه ـ فيما بعد ـ أخذ يعتقد بأن مهمة الفلسفة لا تنحصر في «توضيح أفكار ومبادىء العلوم» على العكس من فتجنشتين؛ فطالما أن للفلسفة معنى معرفي؛ وإن لم يكن لها معنى تجريبي؛ فإن لها أن لا تتوقف عند التوضيح والتحليل وإنما أن تنتبح معرفة جديدة طالما أنها لم تخرج عن «لغة العلم حيث يمكن أن يُقَال كل شيء قابل للقول».

دار التنوير للطباعة والنشر ص. ب: ٦٤٩٩ ـ ١١٣ بيروت ـ لبنان.